This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

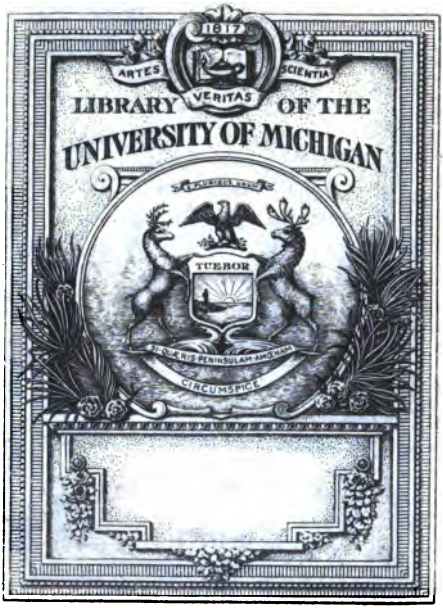
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



THE GIFT OF
Prof. Louis C. Karpinski

Ex Libris [illegible]
a Griffiths

EX LIBRIS
G. GUY Presbiteri

QC
19
.N78
1753
v.3

LEÇONS DE PHYSIQUE EXPERIMENTALE.

Par M. l'Abbé NOLLET, *de l'Académie Royale des Sciences, de la Société Royale de Londres, de l'Institut de Bologne, & Maître de Physique de* MONSEIGNEUR LE DAUPHIN.

TOME TROISIÉME.

TROISIEME EDITION.

A PARIS,

Chez les Freres GUERIN, ruë S. Jacques, à S. Thomas d'Aquin.

M. DCC. LIII.

Avec Approbation, & Privilège du Roi.

Phy Louis C. Karpinski
J.26.46

3-1-46 a92

AVIS AU RELIEUR.

Les Planches doivent être placées de maniére qu'en s'ouvrant elles puiſſent ſortir entiérement du livre, & ſe voir à droite, dans l'ordre qui ſuit.

TOME TROISIEME.

	page	planche
IX. Leçon.	24	1
	42	2
	68	3
	86	4
	98	5
	106	6
	124	7
	136	8
	170	9
X. Leçon.	192	1
	216	2
	232	3
	254	4
	286	5
	334	6
XI. Leçon.	412	1
	438	2
	468	3
	500	4

EXTRAIT DES REGISTRES de l'Académie Royale des Sciences.

Du 6. Mars 1745.

MOnsieur de REAUMUR & moi, qui avions été nommés pour examiner *le troisiéme Volume des Leçons de Physique Expérimentale* de M. l'Abbé Nollet, en ayant fait notre rapport, l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de l'Impression; en foi de quoi j'ai signé le présent Certificat. A Paris, ce 6. Mars 1745.

GRANDJEAN DE FOUCHY,
Secrétaire perpétuel de l'Académie Royale des Sciences.

LEÇONS

LEÇONS DE PHYSIQUE EXPERIMENTALE.

IX. LEÇON.

Sur la Méchanique.

APrès avoir enſeigné, dans les Leçons précédentes, les propriétés & les loix du mouvement, tant pour les corps ſolides que pour les fluides, il nous reſte à parler dans celle-ci des moyens par leſquels on peut l'employer, ou plus commodément, ou avec plus d'avantage. Ces moyens ſont les *Machines*, c'eſt-à-dire, certains corps ou aſſemblages d'une conſtruction plus ou moins ſimple, qui

IX. LEÇON.

IX. LEÇON.

transmettent l'action d'une puissance sur une résistance, & qui la font croître ou diminuer en variant les vîtesses.

La science qui traite des machines s'appelle *Méchanique*; elle suppose, dans celui qui s'y applique, des connoissances suffisantes de Mathematique & de Physique; car un Méchanicien doit non-seulement estimer & mesurer des forces opposées entre elles rélativement à leurs positions respectives; mais il faut encore qu'il sçache distinguer quelle est la nature de ces forces, ce qui peut s'y mêler d'étranger, par la qualité des matiéres qu'on employe, par la circonstance du lieu, du tems, &c. Celui qui ne posséderoit que la partie physique, pourroit faire des machines durables & bien assorties, quant à l'assemblage des piéces & à leur maniére de se mouvoir; mais il courroit risque de se tromper souvent dans les proportions, & les effets se trouveroient rarement tels qu'il les auroit attendus. Celui qui n'auroit que des connoissances purement mathématiques, & qui ne considéreroit que des lignes & des points dans les quantités dont

il voudroit faire uſage, trouveroit ſans doute beaucoup de déchet après l'éxecution. Enfin celui qui ne ſeroit ni Géomètre, ni Phyſicien, travailleroit abſolument en aveugle, & ne pourroit ſe flatter de réüſſir que par un pur hazard ; ſouvent après bien des tentatives inutiles, pénibles & preſque toujours diſpendieuſes. C'eſt une vérité que l'expérience prouve depuis long-tems, & qui devroit corriger bien de gens dont le travail eſt infructueux. Mais de même que l'amour propre & l'envie d'être Auteur, fait imprimer quantité de mauvais Ouvrages malgré la critique, les mêmes motifs & ſouvent l'appas du gain, font faire auſſi des fraix d'un nombre prodigieux d'inventions qui ne verroient pas le jour, ſi ceux qui les imaginent en ſçavoient aſſez pour en bien juger.

IX. LEÇON.

Les mauvaiſes machines naiſſent plus fréquemment que les bonnes ; & c'eſt ce qui décrédite un peu la Méchanique dans l'eſprit de pluſieurs perſonnes qui confondent injuſtement le Machiniſte avec le vrai Méchanicien : on revient aiſément de

IX. LEÇON.

cette idée, quand on fait attention que les Sçavans du premier ordre, Archytas, Ariſtote, Archimédes, &c. parmi les Anciens; MM. Mariote, Amontons, de la Hire, Varignon, &c. parmi les Modernes, ſe ſont appliqués particuliérement à la ſcience des machines utiles, & ſe ſont rendus recommandables par les progrès qu'ils y ont faits. Les découvertes de ce genre font autant d'honneur, & ne méritent pas moins d'applaudiſſemens que celles de toute autre eſpéce: l'objet de cette ſcience n'eſt-il pas très-utile en lui-même? & la ſocieté n'en retire-t'elle pas des avantages conſidérables? Jugeons de ce que nous en pouvons attendre par les productions dont nous joüiſſons actuellement: les moulins qui nous préparent la farine, ceux qui foulent nos étoffes, ou qui nous tirent l'huile des végétaux, les différentes pompes qui élévent l'eau pour nos uſages & pour la décoration de nos jardins, les voitures qui nous épargnent tant de fatigues, & qui rendent les tranſports ſi faciles & ſi commodes; les poulies, les gruës, les cabeſtans

dont l'application eſt ſi avantageuſe & ſi fréquente dans l'architecture & dans la navigation : les ponts-levis, & quantité d'autres moyens dont on ſe ſert pour défendre les places ; ne ſont-ils pas autant de machines dont nous ſentons tous les jours l'utilité, & qui deviennent même néceſſaires ſelon les circonſtances ? On doit aſſûrément ſçavoir bon gré à ceux qui veulent bien ſe refuſer aux attraits ſéduiſans de la haute Géométrie, pour ſe donner le loiſir d'en appliquer les principes à des recherches de cette nature : elles ſont moins brillantes, que la ſolution des grands problêmes ; mais elles ne m'en paroiſſent pas moins eſtimables, parce qu'elles tendent plus directement au bien de la ſociété, & qu'elles ont pour l'ordinaire, des applications plus promptement, & quelquefois plus généralement utiles.

IX. LEÇON.

On diſtingue communément deux ſortes de machines, celles qui ſont *ſimples*, & celles qui ſont *compoſées*, les premiéres ſont comme les élémens des autres, & ce ſont elles qui vont faire principalement le ſujet de

IX. LEÇON.

cette Leçon ; car la multiplication & l'assemblage des machines simples dans un même tout, n'apporte aucun changement essentiel à leurs propriétés, & nous ne devons pas entreprendre de faire une énumération complette de toutes les machines composées qui ont été mises au jour pour faire connoître toutes les applications qu'on y a faites de celles qui sont simples. Nous nous contenterons d'indiquer celles qui sont le plus en usage, dont la construction pourra s'entendre plusf acilement, & qui n'auront pas besoin de ces descriptions longues & détaillées qui ne peuvent avoir place dans cet Ouvrage.

Le nombre des machines simples varie selon la maniére d'estimer leur simplicité; les uns regardant comme simple ce que d'autres considérent comme étant déja composé, c'est une chose assez arbitraire & peu importante: pour moi sans désapprouver les opinions qui différent de la mienne à cet égard, je ne compte que trois sortes de machines simples; sçavoir, le *Lévier*, le *Plan incliné*; &

IX. LEÇON.

les *Cordes*. Mais avant que d'entrer en matiére, il eſt à propos d'établir quelques notions générales, qui rendront notre théorie plus facile à ſaiſir, & de prévenir auſſi quelques difficultés qui pourroient naître dans le cours de nos explications.

Dans une machine il y a quatre choſes principales à conſidérer ; la puiſſance, la réſiſtance, le point d'appui ou centre de mouvement, & la vîteſſe avec laquelle on fait mouvoir la puiſſance & la réſiſtance.

On appelle *puiſſance* une force quelconque ou pluſieurs enſemble, qui concourent à vaincre un obſtacle, ou à ſoutenir ſon effort ; ainſi les hommes ou le cheval qui remontent un bateau contre le courant de la riviére, le poids d'un tourne-broche, ceux d'un horloge ou d'une pendule, doivent être regardés comme la puiſſance ou force motrice.

Quand la puiſſance qu'on employe dans une machine eſt l'effort d'un animal, on doit l'eſtimer relativement à la nature & à la durée du travail. Car quoiqu'un cheval puiſſe vaincre pour un tems fort court une

IX. LEÇON.

force de 500 ou 600 livres, & qu'un homme soutienne pendant quelques instans un fardeau de 100 ou 150 livres, quand il s'agit de travailler de suite, on ne doit pas compter sur un effort qui excéde 25 ou 30 livres de la part d'un homme, & environ 180 livres de la part d'un cheval; encore faut-il qu'ils agissent avec liberté, & qu'ils ne soient pas gênés, soit par la disposition de la machine à laquelle on les applique, soit par la situation du terrain, ou autrement.

Si la puissance est un poids ou un ressort, il peut arriver qu'elle ne soit pas d'une valeur constante: car 1°. à mesure qu'un ressort se déploye, son effort diminuë; & si la machine n'est point faite d'une matiére qui supplée à cette diminution, les efforts ne peuvent pas être aussi grands à la fin qu'au commencement. 2°. Nous avons fait voir, en parlant de la pesanteur, que l'accélération augmente la force des corps qui tombent librement, c'est-à-dire avec une vîtesse très-sensible; ainsi dans tous les cas où le mouvement est imprimé par le choc d'un corps qui tombe, la

machine en reçoit d'autant plus que le moteur descend de plus haut.

La *résistance* est une autre force ou la somme de plusieurs obstacles qui s'opposent au mouvement de la machine que la puissance anime ou fait mouvoir; tel est un bloc de pierre ou de marbre qui resiste par son poids à l'action des hommes qui font effort pour le traîner ou pour l'enlever, par le moyen d'un treüil, d'un cabestan, d'une gruë, &c.

La résistance n'est pas toûjours une quantité constante comme un poids qu'on veut enlever; souvent ce sont des ressorts à tendre, des corps à diviser des fluides à soutenir; & en pareils cas, la puissance a plus ou moins à faire au commencement de son action qu'à la fin. Pour n'être point pris en défaut, on doit proportionner la machine de façon que la résistance, étant la plus grande qu'elle puisse être, se trouve encore inférieure à la force motrice. Ainsi lorsqu'il s'agit, par exemple, de faire monter l'eau par le moyen d'une pompe; on doit considérer le tuyau montant comme étant toûjours plein

IX. LEÇON.

quoiqu'il ne le ſoit pas véritablement qu'après un certain nombre de coups de piſtons, pendant leſquels la force motrice eſt plus que ſuffiſante.

On appelle *Point d'appui*, *Centre de mouvement*, ou *Hypomochlion*, cette partie d'une machine, autour de laquelle les autres ſe meuvent; c'eſt dans une balance, l'endroit de la chaſſe ſur lequel repoſe l'axe du fleau; c'eſt dans une roue de caroſſe, l'extrêmité du rayon qui touche actuellement le terrain, lorſqu'elle roule: c'eſt la penture d'une porte, l'axe d'une poulie, &c.

Le centre du mouvement n'eſt pas toujours un ſeul point fixe; dans bien des occaſions, c'eſt une ſuite de points qui forment une ligne, tel eſt l'axe d'une ſphére, telles ſont les charniéres, & tout ce qui en fait l'office.

Le point d'appui bien ſouvent, n'eſt fixe que relativement à la révolution dont il eſt le centre: il peut être mobile d'ailleurs; tel eſt par exemple, l'eſſieu d'une charette qui eſt emporté dans une direction paralléle au terrain, pendant qu'il eſt le centre du mouvement des roues;

IX. LEÇON.

quelquefois même c'eſt l'action d'un corps animé qui ſert d'appui, comme lorſque deux hommes portent enſemble quelque fardeau ſur un bâton dont ils ſoutiennent chacun un bout; l'un des deux, indifféremment, peut-être regardé ou comme puiſſance, ou comme point d'appui.

Les vîteſſes ſe meſurent par les eſpaces que parcourent la puiſſance & la réſiſtance, ou qu'elles parcourroient, eu égard à la diſpoſition de la machine, ſi l'une emportoit l'autre. Un homme, par exemple, qui tire un fardeau par le moyen d'un cabeſtan, décrit en marchant la circonférence d'un cercle; & pendant qu'il parcourt ce chemin, le fardeau s'approche d'une certaine quantité: ce ſont ces eſpaces parcourus de part & d'autre qui déterminent les vîteſſes rélatives; car le tems eſt égal pour l'un & pour l'autre. De même quand les deux baſſins d'une balance ſont en repos par cauſe d'équilibre, on connoît leurs vîteſſes, par le chemin qu'ils feroient en même tems, l'un en montant, l'autre en deſcendant, ſi le mouvement avoit lieu.

IX. LEÇON.

La pesanteur est une force qui s'employe souvent en méchanique comme puissance ou comme résistance : quoiqu'elle n'appartienne également à toutes les parties de matiére renfermées sous un même volume; pour plus de simplicité, nous la considérerons comme résidante en un seul point que nous nommerons, *Centre de gravité.*

Ce centre de gravité, ou de pesanteur, n'est pas toûjours celui de la figure; c'est un point par lequel un corps étant suspendu, toutes ses autres parties demeurent en repos, & avec lequel elles se meuvent toutes lorsqu'il cesse d'être appuyé. De-là il est aisé de comprendre que ce point ne se trouve justement au milieu que dans les corps dont les parties sont homogénes & la figure symmétrisée, dans une boule bien ronde, par exemple, & d'une densité bien uniforme, il est évident que tous les rayons ou demi-diamétres sont égaux & de même poids; égaux, à cause de la figure parfaitement sphérique; de même poids; à cause de l'homogénéité des parties : tout est donc en équilibre

autour d'un point qui eſt en même-tems centre de gravité & de figure. il n'en eſt pas de même d'une fléche dont le bout eſt ferré, ou d'une plume à écrire; ſi l'on partage ſa longueur en deux parties égales, l'une ſe trouvera plus peſante que l'autre, & la ſection n'aura point paſſé par le centre de ſa peſanteur, quoiqu'elle ſe ſoit faite à celui de ſa figure.

IX. LEÇON.

De la même maniére que l'on conçoit toute la peſanteur d'un corps réunie dans un ſeul point, on conſidére pareillement dans un eſpace infiniment petit, celle de pluſieurs corps qui concourent à une même action par leurs poids. Quand pluſieurs maſſes peſent ſur une même corde par des fils qui les y attachent, on peut regarder le nœud commun de ces fils comme le centre des peſanteurs particuliéres. *A*, *B*, *Fig.* 1. étant donc les centres de gravité des deux corps ſuſpendus, leurs actions ſe réuniſſent en *C*, ou dans tout autre point que l'on voudra choiſir de la ligne *C d*, pourvû que le poids *A* ſoit égal au poids *B*; car ſi l'une des deux boules étoit de bois, & l'autre de pierre,

IX. LEÇON.

le centre de la plus pesante s'approcheroit davantage de la ligne *c D*, & la ligne *a b* seroit partagée par la direction *c D* en deux parties inégales, dont la plus longue seroit à la plus courte, comme le plus grand poids au plus petit.

Quel que puisse être le nombre de ces corps pesans, si l'on connoît le centre de gravité de chacun d'eux, on détermine facilement l'endroit où se réunissent leurs forces, parce que les distances sont connuës ; mais ceci s'entendra mieux quand nous aurons expliqué la théorie du lévier.

La pésanteur a une intensité différente lorsque les corps sont plus ou moins éloignés du centre de la terre où ils tendent ; mais dans la suite de cette Leçon nous n'aurons point égard à cette différence, parce qu'elle n'est jamais sensible dans l'étenduë que peut avoir une machine ; ainsi nous supposerons qu'un poids dont la chûte n'est point accélérée, exerce toûjours la même force ou la même pression dans toute sa direction. Un seau plein d'eau qui pése 100 livres sur la poulie du puits, lorsqu'il est

en-haut, eſt donc cenſé peſer autant lorſqu'il eſt 50 ou 60 pieds plus bas, (abſtraction faite du poids de la corde;) & celui qui ſonne une cloche fait toûjours le même effort, ſoit que la corde ait beaucoup ou peu de longueur. IX. LEÇON.

Nous regarderons auſſi comme paralléles les directions de deux poids diſtans l'un de l'autre, quoiqu'à la rigueur elles ſoient un peu inclinées entr'elles, puiſque tous les corps graves tendent à un même point qui eſt le centre de la terre; mais nous en ſommes trop éloignés pour avoir à craindre aucun mécompte, en négligeant cette inclinaiſon.

Pour écarter tout ce qui eſt en quelque façon étranger à notre objet préſent, dans toute cette Leçon nous ferons abſtraction des frottemens & de la réſiſtance des milieux, obſtacles cependant dont on doit bien tenir compte dans la pratique, & qui, lorſqu'on les néglige, ou qu'on manque à les eſtimer ſelon leur valeur, cauſent des erreurs conſidérables dans les calculs que l'on fait ſur le produit des machines, comme nous l'avons fait voir dans la troiſié-

IX. LEÇON.

me Leçon, en expliquant la premiére loi du mouvement.

PREMIERE SECTION.

Du Lévier.

UN lévier conſidéré mathématiquement n'eſt autre choſe qu'une ligne droite ſans peſanteur qui régle les diſtances & les poſitions de la puiſſance, de la réſiſtance & du point d'appui. Si dans la pratique cette ligne devient peſante & courbe, ſon poids doit être conſidéré comme faiſant partie de la puiſſance ou de la réſiſtance & ſa courbure peut toûjours ſe réduire à la diſtance qu'elle met entre ces deux forces, eu égard à leurs directions, ou bien entre l'une des deux & le point d'appui : ainſi *E F G*, *Fig.* 2. équivaut à *e g* ; & ſi les deux parties *E F*, *F G*, ſont de fer ou de quelqu'autre matiére ſenſiblement peſante, chacune fait partie de la maſſe *E*, ou *G* qu'elle ſoutient.

On diſtingue ordinairement trois genres de léviers par les différentes poſitions

positions que l'on peut donner à la puissance, à la résistance & au centre du mouvement ou point d'appui. IX. LEÇON.

On pourroit, en suivant l'exemple de quelques Auteurs célebres *, regarder comme deux autres puissances ce que j'ai nommé résistance & point d'appui; & alors la distinction des léviers en trois genres n'auroit plus lieu : mais il m'a semblé qu'il y avoit quelque avantage à suivre la méthode la plus usitée dans une leçon, qui est moins un traité de méchanique, qu'un simple exposé des principes de cette science. Pour représenter donc ces trois sortes de léviers, je désignerai la puissance ou force motrice par une main *A*, la résistance par un poids *B*, & le point d'appui par un pivot *C*. *

* *Traité de Méchanique de M. de la Hire.*

* *Fig.* 3, 4, 5, 6.

Les léviers du premier genre sont ceux où le point d'appui est entre la puissance, & la résistance. *Fig.* 3.

Ceux du second genre ont la résistance entre le point d'appui & la puissance. *Figure* 4.

Dans ceux du troisiéme genre, la puissance est placée entre le point d'appui & la résistance. *Figure* 5.

IX. LEÇON.

Les espéces de chaque genre se distinguent par la distance qu'il y a de la puissance au point d'appui, relativement & par comparaison à celle qui est entre ce même point & la résistance. Si, par exemple, le pivot, au lieu d'être en *C* étoit en *c*, *Fig.* 3. ce seroit toujours un lévier du premier genre, mais l'espêce seroit différente; ainsi pour s'exprimer exactement sur quelque levier que ce puisse être, on dira: " il est de tel ou „ tel genre, & les distances des for„ces résistantes & motrices au point „ d'appui, sont entr'elles dans le rap„ port de 2 à 3, ou à 4, ou à 5, &c. „

La distance de ces deux forces au point d'appui détermine le chemin qu'elles ont à faire, & par conséquent leurs vîtesses; car, puisque l'une ne peut se mouvoir sans l'autre, il est évident que la puissance *A*, *Fig.* 6. n'employera pas plus de tems à parcourir l'arc *A a*, que la résistance en consumera pour achever le sien *B b*. Quand les tems sont égaux, les vîtesses doivent se comparer par les espaces parcourus ou à parcourir, comme nous l'avons enseigné *, en par-

* *Tome I pag. 193 & suiv.*

lant des propriétés du mouvement. Ainſi comme les arcs *Aa*, & *Bb*, ſuivent entr'eux le rapport de leurs rayons *AC*, & *BC*, il eſt certain qu'en connoiſſant ces deux derniéres diſtances, on ſçait la vîteſſe de la puiſſance & celle de la réſiſtance. D'où il ſuit : IX. LEÇON.

1°. Qu'un poids agiſſant comme puiſſance ou comme réſiſtance, par un lévier placé horizontalement, a d'autant plus de force qu'il eſt plus éloigné du point d'appui.

2°. Que deux maſſes égales oppoſées l'une à l'autre ſur un ſemblable lévier, ne peuvent être en équilibre, que quand elles ſont à égales diſtances du point d'appui, & qu'elles agiſſent en ſens contraires.

3°. Que deux poids inégaux y exercent l'un contre l'autre des forces égales, quand leurs diſtances au point d'appui ſont reciproquement comme les maſſes.

Ces trois propoſitions deviendront ſenſibles par des expériences.

IX. LEÇON.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 7. repréſente un plan vertical élevé ſur une baſe, & percé à jour par une raînure *H I*; la piéce *K* eſt une eſpêce de chaſſe qui peut ſe placer à différens endroits de la raînure, par le moyen d'une queuë à vis qui traverſe celle-ci, & qui s'arrête par derriére avec un écrou. *L M*, eſt une petite boëte de métal qui ſe meut ſur deux pivots dans la chaſſe, & dans laquelle on fait gliſſer le lévier *NO*, pour l'arrêter à tel endroit qu'on ſouhaite de ſa longueur: par ce moyen le point fixe change de place, non-ſeulement ſur le plan, mais même ſur le lévier; les extrêmités de ce lévier ſont percées pour recevoir des poids qui portent chacun une petite boucle en deſſous pour en recevoir d'autres. *P* eſt une maſſe qui eſt enfilée par le lévier, & que l'on y arrête à tel endroit qu'il convient, pour le mettre en équilibre avec lui-même, dans les cas où le point d'appui n'eſt pas placé au milieu de ſa longueur.

Q est une poulie très mobile sur son axe, dont la mouffle se place en fourchette, & à telle distance que l'on veut sur le haut du plan vertical; cette poulie est embrassée par un cordon qui porte d'un côté un poids, & de l'autre un crochet pour soutenir le lévier, dans les cas ou le point fixe se trouve placé à l'une des deux extrêmités. IX. LEÇON.

Avec cette machine ainsi préparée, on peut mettre en expérience les léviers de tout genre & de toutes espêces, varier la puissance & la résistance, non-seulement quant à leurs distances au point d'appui, mais encore quant à leurs masses, ou quantités absoluës; & par le moyen du contrepoids *P*, le lévier peut toûjours ressembler à une ligne mathématique, inflexible & sans poids.

Ces moyens étant donc supposés, nous nous abstiendrons de les faire reparoître dans nos figures, & nous représenterons chaque expérience par des lignes, afin d'écarter de nos explications ce qui est étranger, & de n'occuper l'attention du Lecteur que de l'objet dont il sera question.

IX. LEÇON.

Ayant donc disposé le lévier de manière que son point fixe se trouve entre deux poids, comme il est représenté par la *Fig.* 8. on remarquera ce qui suit.

EFFETS.

1°. Si le point fixe est en *a*, c'est-à-dire, qu'il partage le lévier en deux bras égaux, une puissance d'une livre soutient une résistance de même poids.

2°. Si le point fixe est en *b*, le bras de la puissance est deux fois aussi long que celui de la résistance ; une livre en *P* soutient deux livres en *R*.

3°. Si le point fixe est en *c*, il y a trois fois aussi loin de *c* en *p*, que de *c* en *r* ; la même livre employée en *P* en soutient trois placées en *R*.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut disposer la machine que nous avons décrite *, de manière que le point fixe se trouve à l'une des deux extrêmités du lévier, & que l'anneau dans lequel passe le lévier

* *Fig.* 7.

soutenu par la puissance *P*, puisse se placer d'abord au point 2, & ensuite au point 1. *Voyez la Fig. 9.*

EFFETS.

Dans le premier cas, *R* pesant une livre, fait équilibre à *P*, dont le poids est une livre $\frac{1}{2}$.

Dans le second cas, pour avoir équilibre, il faut mettre les deux poids dans le rapport de 3 à 1, c'est-à-dire que la masse *P* qui n'est éloignée du point d'appui que d'un espace, doit peser 3 livres pendant que l'autre *R* qui est à la troisiéme distance, n'en pese qu'une.

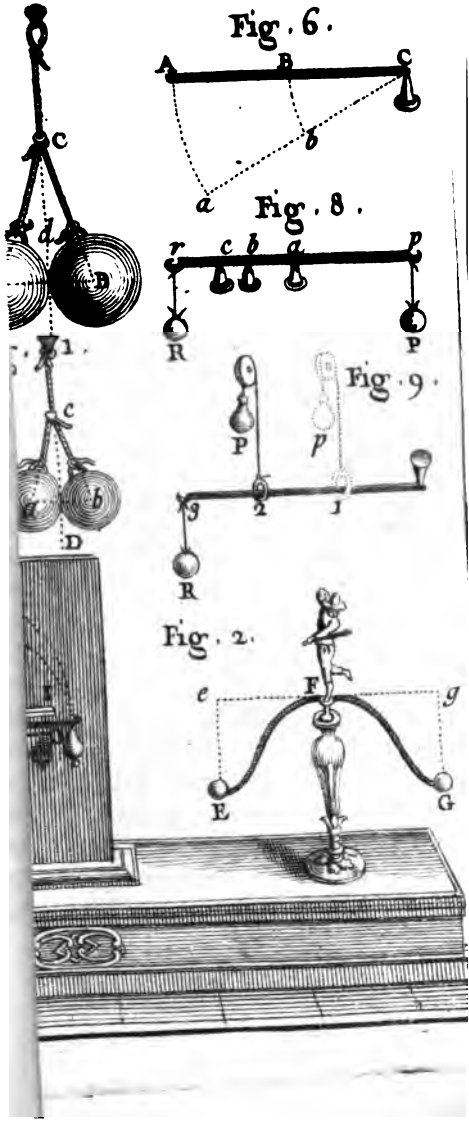
Ce lévier qui est du troisiéme genre, représente aussi celui du second, si l'on considére comme réfistance, ce que nous avons regardé comme puissance.

EXPLICATIONS.

Les principes que j'ai établis d'abord, laissent peu de choses à dire pour expliquer les faits qui sont rapportés dans ces deux premiéres expériences. L'action ou la force d'un corps se mesure par la quantité de

mouvement qu'il a, ou qu'il auroit,
IX. LEÇON. s'il n'étoit pas retenu ; or la quantité du mouvement réſulte de la maſſe multipliée par la vîteſſe. Sur un même lévier la puiſſance & la réſiſtance ne peuvent ſe mouvoir qu'en même tems ; leurs vîteſſes, c'eſt-à-dire, celles qu'elles ont, ou qu'elles auroient, ſi le mouvement avoit lieu, ne peuvent donc différer que par les eſpaces. S'il y a équilibre entre 1 livre & 1 livre, ſur un lévier horizontal partagé en deux bras égaux par le point d'appui, comme on l'a vû dans le premier réſultat de la premiére expérience, c'eſt que ce lévier ne peut ſe mouvoir, ſans que les deux poids parcourent des arcs égaux en même tems, ou (ce qui eſt la même choſe) ſans qu'ils ayent la même vîteſſe ; égalité des vîteſſes, & égalité des maſſes de part & d'autre, produiſent des efforts égaux, qui ſe détruiſent reciproquement, parce qu'ils ſe font en ſens contraires, ce que l'on appelle équilibre.

Dans le ſecond réſultat, on voit une livre qui en ſoutient deux, parce qu'elle eſt tellement placée qu'elle auroit


C
d
B
1
c
a
b
D
Fig. 6.
A
B
C
b
a
Fig. 8.
r
c
b
a
p
R
P
Fig. 9.
P
p
g
2
1
R
Fig. 2.
e
F
g
E
G

auroit deux fois plus de vîteſſe que le poids oppoſé ; 1 de maſſe multiplié par 2 de vîteſſe, équivaut à 1 de vîteſſe multiplié par 2 de maſſe. Il eſt facile d'appliquer ce calcul aux autres effets.

COROLLAIRE.

Puiſqu'une puiſſance appliquée à un lévier croît toûjours à méſure qu'elle s'éloigne du point d'appui, comme on l'a pû voir par les expériences précédentes ; on doit en tirer cette conſéquence, qu'une très-petite force, par le moyen d'un lévier aſſez long, peut faire équilibre ou vaincre une autre force infiniment plus grande. Archimédes avoit donc raiſon de dire qu'il enleveroit la terre entiére, s'il avoit un point fixe qui en fût ſéparé : car en établiſſant ſur cet appui un lévier dont le bras du côté de la puiſſance, ſurpaſſât en longueur celui auquel il auroit attaché le globe terreſtre, autant ou plus que le poids de ce globe ne l'emporte ſur la force d'un homme, il eſt évident par les principes établis ci-deſſus, qu'il eût acquitté ſa promeſſe,

IX. LEÇON.

par une démonſtration, ſans doute? car il eſt inutile de dire que le lévier dont il faudroit faire uſage dans une telle opération, ne peut jamais paſſer que pour un être de raiſon, comme le point fixe qu'il demandoit.

APPLICATIONS.

Les léviers ſont d'un uſage ſi commun, non-ſeulement dans les Arts, mais même dans la vie civile & dans le méchaniſme de la nature, qu'on les rencontre preſque par-tout, pour peu qu'on y faſſe attention. Nous nous bornerons à quelques exemples, pour ne point entrer dans un détail trop long & ſuperflu.

Les Charpentiers, les Maçons & autres Ouvriers qui ont à remuer de grandes pierres, ou de groſſes piéces de bois, ſe ſervent très-ſouvent d'une barre de fer arrondie dans preſque toute ſa longueur, un peu coudée & applatie par un bout. Cet inſtrument qu'ils appellent communément *pied de chévre*, s'employe principalement de deux manières. Quelquefois après avoir engagé l'extrémité applatie, qu'on nomme *la pince*,

entre la piéce qu'on veut mouvoir, & le terrain ſur lequel elle repoſe, on fait porter le coude *A*, *Fig.* 10. ſur quelque corps dur, & alors en appuyant ſur l'autre bout de la barre *B*. on ſouléve le fardeau, d'une petite quantité à la vérité, mais aſſez pour donner la liberté de gliſſer deſſous une corde, un rouleau, &c. ce qui ſuffit le plus ſouvent. D'autres fois auſſi on avance un peu plus la pince ſous la piéce qu'on veut remuer, & en ſoulevant la barre, on fait effort contre la partie *C* qui repoſe deſſus. *Fig.* 11. IX. LEÇON.

Le pied de chévre, comme l'on voit, n'eſt autre choſe qu'un lévier, qui eſt du premier genre dans l'uſage que nous avons cité d'abord; car le point *A*, qui eſt l'appui, ſe trouve placé entre la puiſſance & la réſiſtance. Dans l'autre uſage, il eſt du ſecond genre, puiſque la réſiſtance ſe fait au point *C*, entre la puiſſance & le bout de la pince qui eſt appuyé par terre.

Comme cet inſtrument s'employe pour l'ordinaire à ſoulever de grands fardeaux, l'endroit du coude qui ſert

IX. LEÇON.

de point d'appui, ou qui reçoit l'effort de la réſiſtance, eſt toujours fort loin du bout que l'on tient à la main; ainſi la puiſſance, toujours beaucoup plus éloignée du point d'appui, que la réſiſtance, a ſur elle un avantage conſidérable par cette poſition.

Les rames des Bateliers ſont des léviers du ſecond genre, dont on appuye un bout contre l'eau, pendant que la puiſſance appliquée à l'autre bout porte ſon effort à l'endroit du bateau où la rame eſt attachée : cet endroit partage la longueur de la rame en deux parties, dont l'une frappe l'eau, pendant que l'autre eſt miſe en mouvement par les bras du Batelier : il ſeroit ſans doute avantageux que l'une & l'autre fuſſent fort longues ; la premiére, parce qu'elle répondroit à un plus grand volume d'eau, & que le point d'appui en deviendroit plus fixe ; la ſeconde, parce qu'elle mettroit une plus grande diſtance entre la puiſſance & le point d'appui : mais il y a auſſi des raiſons qui obligent de borner cette longueur de part & d'autre ſelon les circonſtances.

On ne peut allonger les rames du côté de la puiſſance ſans exiger d'elle un plus grand mouvement; celui d'un homme eſt borné à une certaine étenduë, au-delà de laquelle il travaille avec trop de fatigue: on en peut juger par la manœuvre des forçats lorſqu'ils ſont quatre ou cinq appliqués à la même rame; ceux qui ſont au bout, quoique les plus robuſtes, peuvent à peine réſiſter quelques années à ce violent exercice. Dans les petits bateaux où un ſeul homme fait agir deux rames, cette même longueur eſt encore bornée par le peu de diſtance qu'il y a d'un bord à l'autre; car le batelier qui eſt aſſis au milieu de cet eſpace, eſt la puiſſance commune à l'une & à l'autre rame.

Les rames qui ſont fort allongées du côté de l'eau, exigent une navigation fort libre; on ne peut guères en faire uſage dans les petites rivières, dans celles qui ont beaucoup de ſinuoſités, qui ſont remplies d'iſles & de rochers, ou même dans les ports qui ſont très-fréquentés, à cauſe des embarras qui s'y trouvent; c'eſt par ces raiſons ſans doute que les

IX. LEÇON.

rames varient & de formes & de dimenſions, ſuivant les circonſtances des lieux, & les différentes maniéres de les employer.

Le couteau du Boulanger eſt encore un lèvier du ſecond genre, lorſqu'arrêté par un bout ſur une table, & tournant autour d'un point fixe; il eſt porté par la main qui tient le manche, contre un pain qu'il entâme.

La baſcule eſt un lévier du premier genre qu'on reconnoît d'abord, lorſqu'on ſe repréſente une longue piéce de bois, appuyée par ſon milieu, & chargée à ſes extrêmités de deux perſonnes, dont l'une eſt enlevée par l'autre, lorſqu'en touchant le terrain, du pied ou autrement, elle ſoulage d'une partie de ſon poids le bras du lévier où elle eſt.

Les ciſeaux, les pinces, les pincettes, les tenailles, ne ſont encore que des léviers aſſemblés par paires; l'effort de la main ou des doigts qui ménent les deux branches, doit être conſideré comme la puiſſance; le clou; ou ce qui en tient lieu; eſt un point fixe commun aux deux; & ce que l'on coupe, ou ce que l'on ſerre, devient la réſiſtance.

IX. LEÇON.

Ceux de ces instrumens qui sont destinés à faire de grands efforts, comme les cisailles des Chaudroniers ou des Ferblantiers, qui coupent des métaux, ont les branches fort longues par comparaison aux parties tranchantes qu'on nomme les *Couteaux*; de cette manière la puissance agissant par un bras de lévier très-long, est capable de vaincre une résistance fort grande. Par la raison du contraire, dans les pincettes qu'on nomme *Badines*, & qui n'ont d'autre effort à faire, que de transporter quelques charbons, cette légère résistance se fait aux extrêmités de deux longues branches, qui sont des léviers du troisiéme genre; l'endroit où ils se joignent par une charniére ou par un ressort foible, doit être regardé comme le point d'appui; & la main qui les fait agir, est la puissance.

Les ciseaux dont on se sert pour découper, ont les branches fort longues, & les lames très-courtes; ce n'est pourtant pas qu'on ait besoin d'une grande force pour couper du papier mince; mais comme dans la découpure on a souvent de petites

IX. LEÇON.

parties à réserver, il faut que l'on puisse arrêter à propos les ciseaux ; & cela se peut faire facilement, quand le mouvement des doigts qui meut les branches, a beaucoup plus d'étenduë que celui des lames.

Enfin les bras, les doigts, les jambes des animaux sont encore des léviers ou des assemblages de léviers, par lesquels la force des muscles est employée de la maniére la plus convenable & la plus avantageuse, soit pour transporter le corps, soit pour approcher de lui tout ce qui lui est nécessaire ou utile, soit pour en écarter tout ce qui lui seroit nuisible. Un Auteur célébre * a fait connoître en détail, & dans un Ouvrage exprès, ce qu'il y a de plus remarquable dans cet admirable Méchanisme ; ceux qui ont du goût pour l'Anatomie y trouveront de quoi le satisfaire.

* *Borelli, de Motu Animalium.*

Dans les deux premiéres expériences, le lévier étant soutenu horizontalement, nous avons employé pour puissance & pour résistance des corps pésans dont les efforts se faisoient dans des directions verticales, c'est-à-dire, qu'elles faisoient des angles

droits avec la longueur du lévier au moment que ces forces commençoient à agir. Mais il peut arriver, & il arrive très-souvent, soit par la situation du lévier, soit par la nature des puissances qu'on employe, que leurs efforts se font obliquement; & comme en général toute force qui agit obliquement, a moins d'effet que celle dont l'action est directe; il est important de connoître ce qu'on doit attendre de cette obliquité dans l'usage des léviers.

Lorsque les directions de la puissance & de la résistance sont obliques à la longueur du lévier, il peut arriver qu'elles le soient toutes deux également; il peut se faire aussi que ces directions reçoivent différens dégrés d'obliquité, & que l'une ou l'autre soit plus ou moins inclinée au lévier: dans ces différens cas, voici ce qu'il y a de plus important à sçavoir.

1°. L'effort d'une puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsque sa direction est perpendiculaire au bras du lévier, par l'extrémité duquel elle agit. Ainsi le poids *B*, *Fig.* 12. ne suffiroit plus pour soutenir

IX. LEÇON.

celui qui est en *A*, si, au lieu de peser dans la direction *b B*, il faisoit son effort obliquement, comme *b D*, ou *b E*.

2°. Deux forces qui agissent l'une contre l'autre, par les deux bras d'un même lévier, gardent entr'elles le même rapport, si leurs directions, de perpendiculaires qu'elles sont, deviennent également obliques au lévier. C'est-à-dire, que si les poids *P*, *R*, *Fig.* 13. sont en équilibre, cet état subsistera entr'eux, si leurs directions, s'inclinant au lévier, demeurent paralléles l'une à l'autre comme *a p*, *b r*.

3°. Si ces directions reçoivent différens degrés d'obliquité, de sorte que l'une des deux fasse avec le bras du lévier, un angle plus ou moins grand que l'autre; celle des deux qui s'écartera davantage de l'angle droit, toutes choses égales d'ailleurs, rendra la puissance plus foible. Une force qui ne seroit donc que suffisante pour soûtenir la masse *Q*, en agissant selon la direction *P p*, *Fig.* 14. ne le seroit plus si elle sortoit de cette ligne; & elle le seroit d'autant moins, qu'elle

s'éloigneroit davantage en se plaçant aux points *c*, *d*, *e*, *f*. Trois expériences rendront ces propositions évidentes.

III. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 15. représente un plan bien uni & élevé verticalement sur une base ; en *F*, on a fixé une chasse assez semblable à celle d'une balance, pour servir de soutien à un lévier *G H*, qui s'y meut librement sur deux pivots ; *I K*, est une régle qui glisse dans une couliſſe, & qui porte en son extrêmité une poulie qui est très-mobile. On fait passer sur cette poulie un cordon fort menu qui tient d'une part à l'extrêmité *H* du lévier, & qui est garni par l'autre bout d'un petit crochet qui sert à suspendre un poids. Par le moyen de la poulie & de la régle mobile sur laquelle elle est fixée, on peut varier comme l'on veut la direction du cordon, & par conséquent celle de la puissance qu'on y attache.

On met d'abord en équilibre deux

IX. LEÇON.

poids dans des directions perpendiculaires aux bras du lévier ; & enſuite en faiſant paſſer le cordon ſur la poulie, on rend oblique la direction de l'un des deux poids comme *a P*, ou *a D*, *Fig.* 16.

EFFETS.

Lorſque la direction du cordon n'eſt plus perpendiculaire au lévier, l'effort de la puiſſance *P*, ne ſuffit plus pour ſoutenir le poids de l'autre part, & l'équilibre ne ſe rétablit point, juſqu'à ce que le cordon revienne dans la direction *a C*.

EXPLICATIONS.

Le poids étant en *C*, fait équilibre à la réſiſtance *E*, parce qu'il agit directement contr'elle ; car ſa direction *a C*, étant paralléle à *b E*, c'eſt comme ſi ces deux forces étoient toutes deux oppoſées dans la même ligne. Ce lévier du premier genre dont les bras ſont égaux, ne fait rien autre choſe que de mettre les deux forces en oppoſition : ſi l'une des deux *E*, tendoit naturellement de bas en-haut, on pourroit la placer en *a*, & l'é-

quilibre subsisteroit de même entr'elles, pourvû que leurs directions restassent directement contraires. Cette opposition directe est donc une condition absolument nécessaire : par conséquent, lorsque l'une des deux forces a sa direction perpendiculaire à l'un des bras du lévier, toutes choses égales d'ailleurs, il faut que l'autre pour lui être égale fasse aussi un angle droit avec l'autre bras ; & si elle s'écarte de cette direction d'un côté ou de l'autre, son effort doit être moins grand. Supposons par exemple, que la puissance agisse selon la ligne *a d* ; il est évident que la résistance *E*, ne seroit nullement soutenuë : elle le sera donc d'autant moins que la direction de la puissance sera plus inclinée au bras du lévier par lequel elle agit, ou qu'elle s'écartera davantage de la ligne *a C*, perpendiculaire à ce même lévier.

IV. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

Il faut mettre le lévier *G H*, de la machine représentée par la *Fig.* 15.

IX. LEÇON.

dans une position oblique comme $h\,i$, & suspendre aux extrêmités deux poids égaux.

EFFETS.

La direction de la puissance & de la résistance étant celle qui est naturelle à tous les corps graves, est la même de part & d'autre ; elle forme avec le lévier incliné, des angles semblables, $l\,i\,F$, $h\,F\,k$: cette égalité d'angles subsiste, quelque dégré d'inclinaison qu'on fasse prendre au lévier, & les deux poids conservent toujours leur équilibre.

EXPLICATIONS.

Lorsque le lévier étoit horizontal comme $G\,H$* , la distance perpendiculaire à la direction des puissances, étoit la même que la longueur des bras $E\,G$, $F\,H$, qui étoit égale de part & d'autre ; le lévier s'étant incliné comme $h\,i$, cette distance à la direction perpendiculaire de chaque poids, a diminué des quantités $l\,H$, $k\,G$; mais ces quantités sont égales entr'elles, par conséquent les restans $l\,F$, $k\,F$, conservent entr'eux le même

* *Fig.* 15.

rapport qu'auparavant ; c'eſt pourquoi l'inclinaiſon du lévier n'a rien changé à l'équilibre des deux poids.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Par le moyen de la machine * qui a ſervi dans les deux expériences précédentes, on met en équilibre deux poids égaux aux bras d'un lévier horizontal ; enſuite on fait paſſer le cordon qui ſuſpend l'un des deux poids ſur la poulie *K*, que l'on fait avancer plus ou moins, pour donner à ce poids ſucceſſivement les directions *a d*, *a f*, *Fig.* 17.

* *Fig.* 15.

EFFETS.

Plus la direction de la puiſſance devient inclinée au lévier, plus il faut ajoûter à ſa maſſe pour la maintenir en équilibre avec celle de l'autre part : c'eſt-à-dire, que ſi elle étoit d'une livre lorſqu'elle étoit dans une direction perpendiculaire au lévier, il en faut une & demie quand la direction eſt *a d*, & trois quand elle eſt *a f*.

IX. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Puiſque l'effort de la puiſſance eſt le plus grand qu'il puiſſe être, lorſqu'elle agit ſelon la direction *a p*, perpendiculaire au lévier, comme nous l'avons prouvé par la troiſiéme expérience ; c'eſt une conſéquence néceſſaire qu'elle ait moins de force, lorſqu'on l'employe dans toute autre direction : & comme elle n'avoit qu'une force égale à la réſiſtance, étant dans la poſition la plus avantageuſe ; elle doit être inſuffiſante, lorſqu'elle reçoit les directions obliques *a d*, *a f* ; c'eſt pourquoi l'on ne peut alors entretenir l'équilibre qu'en compenſant par une augmentation de maſſe dans la puiſſance, ce qu'elle perd par l'obliquité de ſa direction.

Pour juger de cette diminution qu'il faut compenſer, ou pour connoître de combien la puiſſance s'affoiblit par les différens dégrés d'obliquité qu'on fait prendre à ſa direction, prolongeons ces directions par des lignes indéfinies *a i*, *a k*. Imaginons enſuite que le bras du lévier *a c*, tourne ſur ſon point d'appui, & qu'il décrit

décrit une portion de cercle, *a g h i k* ; il y aura un point dans sa longueur *m* ou *n*, sur lequel la direction prolongée tombera perpendiculairement : c'est donc sur ce point que la puissance exerce toute sa force ; mais ce point, comme l'on voit, n'est plus à l'extrêmité du bras du lévier : sa distance au point d'appui est beaucoup moindre ; en un mot, quand la direction de la puissance est oblique comme *a d*, c'est comme si elle étoit perpendiculaire au point *b* ; & lorsqu'elle agit par la ligne *a f*, elle n'a que la force qu'elle auroit, si elle étoit suspenduë au point *e* ; or ces deux points *e*, *b*, partagent ce bras du lévier en trois parties égales, & puisque l'autre bras est de même longueur, il a trois parties semblables à celles-ci. La masse *R*, étant d'une livre multipliée par trois de distance au point d'appui, donne 3, qui est la valeur de la résistance ; si nous suspendons une autre masse en *b*, pour servir de puissance, il faut qu'elle soit d'une livre & demie, qui multipliée par deux de distance, égalera le produit de l'autre part : & si nous la pla-

IX. LEÇON.

IX. LEÇON.

çons en *e*, la distance au point d'appui n'étant plus que 1, il faut nécessairement 3 de masse pour faire équilibre.

Ces masses 1 livre $\frac{1}{2}$ & 3 liv. sont comme l'on voit en raison réciproque des distances *b c*, *e c*, que l'on met entr'elles & le point d'appui; elles ont aussi le même rapport avec les lignes *c m*, & *c n*, qui sont doubles l'une de l'autre; & comme celles-ci sont les sinus des angles *c a m*, *c a n*, on peut comprendre d'une manière plus générale tout ce que nous venons d'expliquer, par cette proposition : *les différens efforts d'une puissance appliquée à l'extrémité d'un bras de lévier selon différentes directions, sont entr'eux comme les sinus des angles que font ces directions avec le lévier.*

Il suit aussi de cette proposition, que l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être, quand la direction est perpendiculaire au lévier, comme nous l'avons déja prouvé *: car alors, elle fait un angle droit *P a c*, dont le sinus est *a c*, c'est-à-dire, le rayon même ou le bras entier du lévier.

* III. Lever. p. 35.

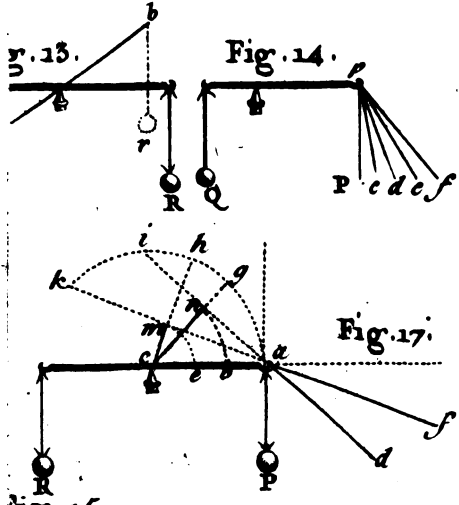


Fig. 13.

Fig. 14.

Fig. 17.

Fig. 15.

Fig. 19.

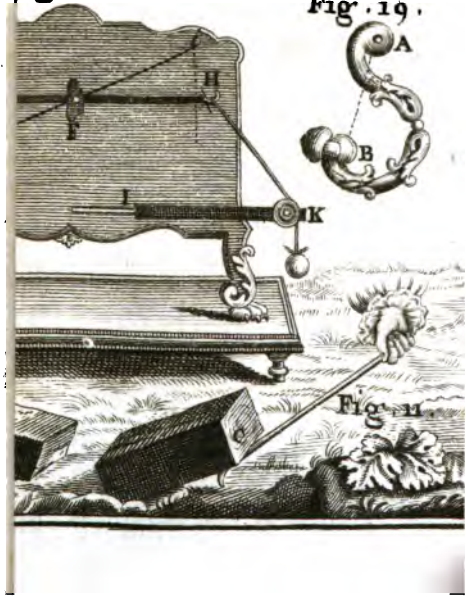


Fig. 11.

APPLICATIONS.

IX. LEÇON.

Il y a quantité de machines & d'instrumens qu'on fait mouvoir par le moyen d'un bras de lévier, qu'on nomme *manivelle*.

Quelque figure qu'on lui donne, soit qu'on la courbe comme celle du gagne-petit, *Fig.* 18. & la plûpart de celle des rouets qu'on fait tourner avec le pied, soit qu'on la façonne en S, *Fig.* 19. comme le sont ordinairement celles des vielles; elle se réduit toûjours à un bras de lévier droit, dont la longueur est déterminée par la distance qu'il y a entre le manche *B* & l'œil *A*, qui reçoit le bout de l'arbre tournant.

Dans les cas où la résistance n'est pas bien considérable, il importe peu quel angle fasse la direction de la puissance avec la ligne *A B*; mais lorsqu'il faut mener de grandes manivelles, avec beaucoup de force, on s'apperçoit bien-tôt que l'effort avec lequel on agit, n'a pas un avantage égal dans tous les points de la révolution. Cette inégalité vient des différentes maniéres dont la puissance

IX. LEÇON.

se trouve dirigée, au bras du lévier pendant qu'il tourne : c'est ce que l'on concevra facilement, si l'on imagine que la manivelle *C H*. *Fig.* 20. reçoit son mouvement circulaire d'une régle *D H*, qui lui est jointe, & qui la pousse & la tire alternativement. Car selon ce que nous avons prouvé par la troisiéme expérience, cette régle agit avec tout l'avantage qu'elle peut avoir, lorsqu'elle fait avec la manivelle un angle droit comme *C H D*, ou *C i k*, soit en poussant, soit en tirant. Mais lorsque la manivelle est aux points *b*, ou *e*, on voit que la direction de la puissance, représentée par la régle, fait avec elle des angles de plus en plus aigus, & que cette obliquité diminue beaucoup de l'effort.

Ce que nous disons de la régle *D H*, il le faudroit dire du bras d'un homme appliqué à une manivelle, s'il ne faisoit que tirer & pousser dans la même direction : mais il fait plus ; lorsque son effort s'affoiblit par une direction désavantageuse en poussant, il avance son corps, de sorte qu'une partie de son poids se porte

dans la direction *b f*, ou *e g*; lorsqu'il tire, il se baisse & se renverse un peu, & par ces différens moyens, il redresse; pour ainsi dire, la direction de la puissance, & l'angle qu'elle fait avec la manivelle demeure plus ouvert qu'il ne le seroit, sans ces mouvemens du corps, qui se font sans attention, & par des ouvriers les plus grossiers, qui n'ont pris sur cela que les leçons de la nature.

Mais ces sortes de mouvemens ne se font pas sans fatigue: il est toujours vrai de dire, que celui qui tourne la manivelle, n'est en pleine force que dans certaines parties de la révolution: c'est apparemment pour cette raison que dans les machines qui se meuvent avec deux manivelles, on est dans l'usage d'opposer la longueur de l'une à celle de l'autre, comme *E F*, & *G H*, *Fig.* 21: afin que des deux hommes qui les menent, l'un se trouve dans une position favorable, pendant que l'autre travaille avec désavantage: mais cette disposition ne me paroît pas la meilleure qu'elle puisse être; j'aimerois mieux que les deux manivelles fissent en-

IX. LEÇON.

ſemble un angle droit, que d'être oppoſées directement. Car ſi l'on partage la révolution entiére en quatre quarts, on peut voir par la *Figure* 20. qu'un homme qui éléve la manivelle d'*l* en *m* par l'action des muſcles, ou qui l'abaiſſe de *b* en *n* par l'effort de ſon poids, a beaucoup plus de force que quand il la porte en avant d'*m* en *b*, ou qu'il la tire à lui d'*n* en *l* : mais ces deux derniéres parties comme les premiéres, ſont directement oppoſées entr'elles ; quand on oppoſe de même les deux manivelles, ceux qui les font agir, ſe trouvent donc en même tems en pleine force, & en même tems auſſi dans les poſitions les moins favorables ; la même choſe n'arriveroit pas, ſi les manivelles faiſoient entr'elles un angle droit ; l'un des deux parcourroit l'arc *l m*, pendant que l'autre paſſeroit par l'eſpace *m b*.

Pour changer la direction du mouvement, il arrive ſouvent, qu'au lieu d'employer un lévier droit, on diſpoſe les deux bras de maniére qu'ils font un angle au point d'appui, comme *I K L*, *Fig.* 22. Ces léviers angu-

laires, qu'on nomme auſſi *manivelles coudées*, ſont fort en uſage pour les pompes, pour les mouvemens des ſonnettes qu'on place dans les appartemens, pour la ſonnerie des horloges & des pendules, & dans une infinité d'autres occaſions où l'action du moteur ne peut ſe tranſmettre que par des voïes indirectes. Ils ont les mêmes propriétés qu'un lévier droit; car lorſqu'en tournant, ces deux bras diſpoſés en équerre ſe trouvent obliques aux directions *m l*, *i n*, de la puiſſance & de la réſiſtance, cette obliquité eſt égale de part & d'autre; *o K l*, *i K h*, ſont ſemblables; en un mot, les diſtances du point d'appui *K*, aux directions perpendiculaires *m o*, *i h*, ſont entr'elles dans les mêmes rapports que *L K*, & *I K*. IX. LEÇON.

Ce que nous avons nommé juſqu'ici le point d'appui, doit être conſidéré comme une troiſiéme puiſſance qui fait équilibre à la force motrice ou à la réſiſtance, ou qui concourt avec l'une des deux pour porter l'effort de l'autre: dans les léviers du premier genre, par exemple, le point d'appui ſoutient l'effort des

IX. LEÇON.

deux forces qui ſont oppoſées de part & d'autre ; dans ceux du ſecond & du troiſiéme genre, il ne porte qu'une partie de l'une des deux.

Ce n'eſt pas toujours un point fixe & inébranlable qui ſert d'appui ; le plus ſouvent ce ſont des corps flexibles, ou qui peuvent s'écraſer, ou bien des corps animés, dont la réſiſtance n'eſt point à l'épreuve de tout effort. Lorſqu'une poutre, par exemple, repoſe par ſes extrêmités ſur les deux murs d'un bâtiment, ſon propre poids ou celui dont elle eſt chargée, les feroit s'écrouler s'ils n'étoient bâtis aſſez ſolidement. Les mulets qui portent des brancarts ſuccombent ſous la charge quand elle excéde leurs forces. Il eſt donc important de ſçavoir de combien eſt chargé le point d'appui, ou ce qui en fait l'office, lorſque deux autres forces agiſſent l'une contre l'autre ſur le même lévier, afin de le pouvoir mettre en proportion avec l'effort qu'il doit ſoutenir ; & comme ce point d'appui pourroit bien être de nature à ne pas réſiſter également dans toutes ſortes de directions, il faut examiner

miner auſſi comment ſe dirige l'effort qu'il ſoutient par les différentes directions qu'on peut donner à la puiſſance & à la réſiſtance. Nous avons fait voir précédemment, que l'action d'une puiſſance quelconque appliquée au bras d'un lévier, réſulte de deux choſes: 1°. De ſa maſſe, ou du poids auquel elle équivaut, ſi c'eſt un reſſort, l'effort d'un animal, ou toute autre force qui n'agit point en vertu de la peſanteur: 2°. De ſa diſtance au point d'appui; & nous avons fait connoître d'où il faut compter cette diſtance. * L'effort qui vient de la maſſe & qu'on peut nommer *abſolu*, eſt limité; une livre, ou l'action de la puiſſance équivalente à une livre, lorſqu'elle péſe ſur le bras d'un lévier, dans la direction la plus avantageuſe, ne peut que faire équilibre à un pareil poids qui lui eſt oppoſé avec les mêmes circonſtances. Mais l'effort qui vient de la diſtance au point d'appui peut croître à l'infini; de ſorte que ſi l'un des deux bras étoit 100 fois auſſi long que l'autre, une livre deviendroit équivalente à 100. Quelle ſera donc

IX. LEÇON.

* *V. Exp. Fig. 17.*

IX. LEÇON.

la charge ſur le point d'appui, premiérement, s'il y a équilibre avec égalité de maſſe ; ſecondement, ſi les maſſes ou les forces ſont en équilibre par l'inégalité de leurs diſtances au point d'appui ?

Pour répondre à la premiére queſtion, je dis que ſi les directions de la puiſſance & de la réſiſtance ſont paralléles entr'elles, le point d'appui ſe trouve chargé de la ſomme des deux forces abſoluës, & ſon effort ſe fait dans une direction paralléle à celles de la puiſſance & de la réſiſtance.

Mais ſi les directions de deux forces oppoſées ſont inclinées l'une à l'autre, le point d'appui ne porte qu'une partie de leur effort abſolu ; il en porte d'autant moins qu'elles ſont plus inclinées au lévier ; & ſa réſiſtance tend au point de concours de ces deux directions : deux expériences ſerviront d'éclairciſſemens & de preuves.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Au revers de la machine qui eſt

représentée par la *Fig.* 15. on a fixé, à deux pouces de distance du plan, les poulies *A* & *B*, *Fig.* 23. qui sont très-mobiles sur leur axes; & par le moyen desquelles on suspend horizontalement un lévier d'acier *D E*, que l'on tient en équilibre avec les deux petits poids *p*, *r*; on suspend ensuite au poids *C* un poids de 4 onces, & aux bouts des cordons deux autres poids *P*, *R*, qui pésent chacun deux onces.

EFFETS.

Tout étant ainsi disposé, le poids qui est en *C* tient les deux autres *P*, *R*, en équilibre; si l'on ôte les deux petits, *p*, *r*, le poids de 4 onces descend par la ligne *C I*; il remonte au contraire par la ligne *C F*, si l'on ajoûte également aux masses *P*, *R*.

VII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Cette expérience se prépare comme la précédente, excepté que le lévier *I K*, *Fig.* 24. est plus court que *D E*, *Fig.* 23. & que le poids *L* n'est que de 3 onces.

IX. LEÇON.

EFFETS.

Les deux directions *KN*, *IQ*, des deux puissances *P*, *R*, étant obliques au lévier, à quelque dégré d'obliquité que ce soit, le poids *L* est toujours moindre que 4 onces pour faire équilibre aux deux autres qui pésent chacun deux onces : si les directions *KN*, *IQ*, deviennent moins obliques au lévier, comme *NO*, *QS*, il faut augmenter la masse *L* pour conserver l'équilibre ; & quand ce poids descend ou remonte, c'est toujours par la ligne *L M*.

EXPLICATIONS.

Dans ces deux dernieres expériences, on peut regarder le poids *P* comme la puissance, *R* comme la résistance, & la masse qui est suspenduë au point *C*, ou *L*, comme la valeur de l'effort qui se fait au point d'appui lorsque tout est en équilibre ; car il est évident que sans ce dernier poids le lévier seroit emporté de bas-en-haut par les deux autres puissances. Or il faut 4 onces au point *C*, quand les deux masses *P*, *R*, sont chacune

de deux onces, & que leurs actions ſont toutes deux dans des directions perpendiculaires au lévier comme *A D, B E*; * nous avons donc eu raiſon de dire qu'en pareil cas le point d'appui eſt chargé de la ſomme totale de la puiſſance & de la réſiſtance; & puiſque le poids qui repreſente l'effort du point d'appui ſe meut dans la ligne *I F*, quand il devient plus fort ou plus foible; c'eſt une marque qu'il agit ſuivant cette direction, qui eſt, comme nous l'avons annoncé, paralléle à celles de la puiſſance & de la réſiſtance.

IX. LEÇON.

* Fig. 23.

Dans l'autre expérience, on voit encore la preuve de ce que nous avons avancé; le poids qui ſuffit pour arrêter le point *L* du lévier contre les efforts qui ſe font en *I* & en *K*, n'eſt jamais de 4 onces, comme il faut qu'il le ſoit, quand les directions des puiſſances ſont perpendiculaires au lévier; ce qui prouve bien que le point d'appui n'eſt plus chargé de la ſomme entiére des deux maſſes *P, R*, & cela doit être ainſi, puiſque, comme nous l'avons prouvé & expliqué, l'action d'une puiſſance eſt

IX. LEÇON.

d'autant diminuée, que sa direction est oblique au bras du lévier par lequel elle agit : enfin l'effort du point d'appui se dirige au point *M*, parce que c'est-là que se réüniſſent, par leurs tendances, les deux forces auſquelles il réſiſte.

Quant à la ſeconde queſtion, ſçavoir quel eſt l'effort qui ſe fait ſur le point d'appui lorſque la puiſſance & la réſiſtance ſe mettent en équilibre par des diſtances inégales entr'elles & le point d'appui : je réponds que cet effort n'eſt jamais plus grand que la ſomme des forces abſoluës ou des maſſes qui ſont oppoſées ; c'eſt-à-dire, que ſi le poids d'une livre en ſoûtient un de 12, parce qu'il agit par un bras de lévier qui eſt douze fois plus long que celui de l'autre part, le point d'appui ne peut jamais être chargé que de 13 livres, & non pas de 24 ; & ſon effort ſe dirige comme dans les cas précédens, parallélement aux directions des forces qu'il ſoûtient, ſi ces directions ſont paralléles entr'elles, ou bien directement au point de leur concours, ſi elles ſont inclinées l'une à l'autre.

VIII. EXPERIENCE.

IX. LEÇON.

PREPARATION.

Sur une même baſe *AB*, *Fig.* 25. on a élevé deux piliers qui gliſſent dans deux mortaiſes, de maniére qu'ils peuvent s'approcher & s'écarter l'un de l'autre; *C*, *C*, ſont deux poulies, ſur chacune deſquelles paſſe un petit cordon pour ſoûtenir une petite tringle d'acier *EE*, par le moyen des deux petits poids *D*, *D*; la piéce *FG*, eſt une verge de fer qui eſt un peu entaillée en-deſſous aux $\frac{3}{4}$ de ſa longueur, & qui, par le moyen d'un poids que l'on attache en *F*, ſe met en équilibre avec elle-même, & avec les petits poids *D*, *D*, que l'on augmente autant qu'il le faut pour cet effet.

On ſuſpend d'abord en *F*, un poids de 6 onces, en *G*, un autre poids de 2 onces; & l'on ajoûte aux petits contrepoids qui ſont en *D*, *D*, deux maſſes de 4 onces chacune. Voyez la *Fig.* 26. où l'on a repréſenté, par des lettres de mêmes noms, celles de ces quantités ſeulement qui intéreſſent la théorie.

IX. LEÇON.

EFFETS.

Il y a équilibre par-tout : 1°. Entre les deux masses inégales qui sont appliquées au lévier *f g* ; 3°. Entre ce lévier, qui est ainsi chargé, & les deux poids *d*, *d*, qui soûtiennent le point d'appui *e e*, ou plûtôt, qui représentent son effort ; & si l'on souléve un peu ces deux derniers poids, aussitôt le point d'appui descend par la ligne *e K*.

IX. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Il faut écarter l'un de l'autre les deux piliers *A*, *B*, de la machine que nous avons décrite, * enforte que la direction du cordon de chaque côté devienne oblique au lévier, comme *c e*, *c e*, *Fig.* 27. ensuite la verge *f g* ayant été avancée jusqu'aux deux tiers de la longueur de la tringle d'acier *e e*, on met en *L* & en *M* des masses telles qu'il les faut pour tenir le tout en équilibre.

* *Fig.* 25.

EFFETS.

Alors le poids *L* se trouve être de

8 onces, & celui qui eſt en *M*, de 4 onces, ce qui fait en ſomme 12 onces de maſſe; & lorſqu'on diminuë cette quantité, ou qu'on ſoulève ces deux poids, le point d'appui *H* deſcend en ſuivant la ligne *H I*, ce qui s'apperçoit facilement, ſi l'on place derriére un fil à plomb. La même choſe arrive, ſi l'on met en *H* un poids de 8 onces au lieu du lévier *f g*, chargé de ſes deux poids.

IX. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Dans la huitiéme expérience, il y a équilibre entre une maſſe de 6 onces & une autre de 2 onces; parceque celle-ci qui n'eſt que le tiers de l'autre eſt trois fois autant éloignée qu'elle du point d'appui; & nous avons fait voir qu'en pareil cas l'excès de vîteſſe d'une part, compenſe l'excès de la maſſe de l'autre part: mais quoiqu'une puiſſance augmente à meſure que le bras du lévier devient plus long, il ne paroît pas que cet accroiſſement charge aucunement le point d'appui, puiſque l'effort qui ſe fait en *g*,* quoiqu'équivalent au poids

* *Fig.* 26.

IX. LEÇON.

de 6 onces qui pése en *f*, ne produit point en *e* la somme de 12, mais seulement celle de 8, exprimée par les deux poids *d*, *d*, de 4 onces chacun; & égale aux deux masses qui sont en équilibre aux bras du lévier *f g*. La même chose se prouve encore plus directement par la neuviéme expérience, puisqu'en substituant en *H* * un seul poids qui égale en masse celle du lévier chargé, les mêmes effets subsistent.

* *Fig.* 27.

* *Fig.* 26. Si rien ne soûtenoit le lévier, * que les deux puissances restassent en équilibre entr'elles, & perpendiculaires aux extrêmités *f* & *g*; il est évident que tous les points compris entre ces deux derniers, tomberoient par des lignes paralléles à celles des puissances; & c'est ce que l'on voit arriver lorsqu'on souléve un peu les deux poids *d*, *d*: le point d'appui descend par la ligne *e K*; cette ligne exprime donc sa tendance de bas-en-haut, ou la direction de son effort.

On peut dire aussi que si ces puissances cédoient de part & d'autre à l'effort qui se fait au point *H*, * pourvû qu'en cédant elles ne changeassent

* *Fig.* 27.

point de rapport, les deux extrêmités du lévier décriroient en descendant les paralléles *e N*, *e O*, & le point d'appui se trouveroit toûjours dans la ligne *H I*, son effort se fait donc dans cette ligne où les directions des puissances se joignent, lorsqu'elles sont inclinées entr'elles.

APPLICATIONS.

Puisque l'on peut sçavoir combien il se fait d'effort sur un appui, ou sur tout ce qui en fait l'office, lorsque l'on connoît la valeur absoluë des puissances & leurs directions à l'égard du lévier, par lequel elles agissent; on peut donc prévenir les accidens qui pourroient naître des disproportions, ou mettre à profit des forces qu'on regarderoit comme insuffisantes, si l'on ne sçavoit pas les appliquer avec tout l'avantage qu'elles peuvent avoir.

Que l'on place, par exemple, une charge de 200 livres au milieu d'un lévier dont les extrêmités repose nt sur les épaules de deux hommes; ces deux appuis suffiront au fardeau, si chacun des porteurs est capable de

IX. LEÇON.

soûtenir 100 livres. Mais si l'un des deux n'en peut porter que 50, quand bien même l'autre pourroit suffire à un effort de 150 livres, le plus foible ne succombera pas moins, tant que le fardeau sera à égales distances entre son collégue & lui ; & tous deux deviendront inutiles pour l'ouvrage qu'on en attendoit. Mais que l'on place la charge plus loin du porteur le plus foible, & que les bras du lévier devenus inégaux, soient en raison réciproque des efforts dont les deux hommes sont capables; & alors le fardeau sera soûtenu, comme il auroit pu l'être d'abord par deux autres hommes qui auroient pu suffire chacun à un effort de 100 livres.

Qu'un Charpentier porte une solive, c'est toujours à peu près par le milieu de la longueur qu'il la pose sur son épaule : en la plaçant ainsi, il ne porte que le poids de la piéce de bois, parce que les deux bouts qui passent de part & d'autre, se font équilibre réciproquement; & le point d'appui n'est chargé que de la somme totale des deux masses. Mais s'il la posoit aux deux tiers, ou aux trois

quarts de sa longueur, il seroit obligé, pour l'empêcher de tomber, de la retenir avec ses bras par le bout le plus court ; & cet effort seroit équivalent à un poids qui feroit équilibre avec l'excès de longueur que la solive auroit du coté opposé : l'épaule du porteur seroit donc inutilement chargée de cette quantité de plus.

Ces deux exemples que je viens de citer sont si simples, & se rencontrent si fréquemment, que la plûpart de ceux qui nous donnent lieu de les remarquer, suppléent au raisonnement par l'habitude & par le seul instinct de la nature. Mais il y a une infinité de cas où l'on a besoin d'être instruit & de réfléchir, & où l'on ne réussit que par une application raisonnée de ces mêmes principes dont nous avons naturellement une idée confuse.

Ce n'est aussi qu'en réfléchissant sur ces loix de la nature, qu'on peut se rendre compte d'un nombre infini de précautions & d'usage que nous adoptons dès l'enfance, ou que nos besoins & la seule industrie ont fait naître.

IX. LEÇON.

Pourquoi, par exemple, un homme qui tire un bateau ou quelque fardeau attaché au bout, d'une corde se penche-t'il en avant? c'est qu'il joint à l'action des muscles une partie du poids de son corps pour vaincre la résistance contre laquelle il agit. Mais s'il manque de point fixe, si celui qu'il a ne l'est point assez, soit par sa nature, soit par une direction désavantageuse, s'il marche sur un plan mobile, tel qu'un bateau qui n'est point arrêté, s'il est sur un terrain gliſſant ou incliné; toutes ces causes, qui se réduisent à un défaut d'appui, rendent ses efforts inutiles, ou en diminuent les effets.

C'est pour prévenir des inconvéniens de cette espèce, que l'on jette de la cendre ou du fumier sur les endroits fréquentés qui sont couverts de verglas, & que dans les grands hyvers on met des pointes aux fers des chevaux, ce que l'on nomme, *ferrer à glace*. Sans cette pointe ou talon que l'on pratique aux patins pour piquer la glace, où pourroit-on prendre son point d'appui pour s'élancer sur un plan dont l'avantage le plus

considérable est de n'avoir aucune inégalité qui puisse arrêter le pied ? Les peuples du Nord qui sont obligés le plus souvent de voyager sur la neige, marcheroient sur un appui qui ne seroit point assez fixe, s'ils ne prenoient la précaution de se mettre aux pieds des espèces de raquettes beaucoup plus larges que la semelle de nos souliers ; par ce moyen ils s'appuyent en marchant sur une plus grande partie du plan, ce qui supplée à son défaut de solidité.

IX. LEÇON.

Quand des chevaux tirent une voiture en montant, ce qui les fatigue, n'est pas seulement le poids de la charge qui est alors moins soutenuë par le terrain, c'est encore l'inclinaison de ce terrain qui leur présente le point d'appui dans une direction fort oblique à celle de leur effort ; car leurs jambes en se roidissant contre le terrain, s'inclinent dans le même sens que lui ; & l'on conçoit bien que plus elles approchent du parallélisme, moins les pieds sont appuyés c'est pourquoi l'on pratique souvent dans ces sortes de chemins certaines inégalités qui facilitent le tirage ;

IX. LEÇON.

semblables à peu près aux marches de nous escaliers, qui présentant un plan horizontal à l'effort du pied qui se fait dans une direction presque verticale, résistent beaucoup mieux que ne pourroient faire des portions du plan incliné sur lesquelles elles sont établies.

Ceux qui sont dans l'usage de tourner doivent sçavoir combien il est nécessaire qu'un lévier soit bien appuyé, pour soutenir les efforts opposés de la puissance & de la résistance; car qu'est-ce qu'un ciseau, une gouse, un burin, sinon un lévier du premier genre appuyé sur un support, & dont la main du Tourneur porte le tranchant ou la pointe contre un morceau de bois, de cuivre, de fer, &c? Si le support n'est pas bien ferme par lui-même, s'il n'est pas proportionné aux efforts qu'il doit soutenir, si sa position, ou celle de l'outil qu'il soutient, donne à sa résistance une direction désavantageuse, il en résulte, comme l'on sçait, beaucoup de mauvais effets; les matiéres dures se tournent par ondes, [ce qu'on appelle, *guillocher*,] celles qui sont tendres s'arrondissent

s'arrondissent imparfaitement, l'outil s'engage, & fait de faux traits ; en un mot, c'est un défaut essentiel dans un tour, lorsque ce qui doit servir d'appui aux outils, manque ou de solidité ou des mouvemens nécessaires pour lui donner les directions les plus convenables ; & celui qui ne sçait pas placer le support avantageusement, n'est point un habile tourneur.

IX. LEÇON.

DES MACHINES

Qui sont composées de Léviers, ou qui agissent comme des Léviers.

Les léviers entrent dans la construction d'un si grand nombre de machines, qu'il ne seroit pas possible de les y faire remarquer par un détail exact. Les Auteurs qui ont traité le plus amplement des méchaniques, se sont dispensés avec raison, de cet examen superflu, & se sont contentés, après avoir établi les principes, d'indiquer par quelques exemples choisis, l'application qu'on en fait dans les Arts : les bornes que nous nous sommes prescrites, exigent que nous en usions avec encore plus de

IX. LEÇON.

réserve; c'est pourquoi nous ne parlerons ici que des machines les moins composées, de celles qui s'éloignent si peu de la simplicité du levier, qu'on les compte quelquefois au nombre des machines simples.

De la Balance commune, & de la Romaine.

La balance ordinaire représentée par la *Figure* 28. est une machine qui sert à mettre en équilibre deux quantités égales de matière, de sorte que si l'on connoît le poids de l'une, on sçait, par ce moyen, combien pèse l'autre.

Cette machine est composée d'un *fleau A B*, dont la longueur est partagée en deux parties égales par un *axe*; de deux *bassins C, D*, suspendus aux deux extrémités des bras du fleau; & d'une *chasse E F*, qui sert d'appui à l'axe, où est le centre du mouvement.

On reconnoît facilement que cette balance n'est autre chose qu'un levier partagé en deux bras égaux par son appui & chargé des efforts d'une

puiſſance & d'une réſiſtance dont les directions ſont paralléles entr'elles, & perpendiculaires à ſa longueur, lorſqu'il eſt horizontal comme *AB*; ou faiſant avec elle des angles égaux de part & d'autre, lorſqu'elle eſt inclinée comme *a b*; de ſorte que s'il étoit poſſible de faire une balance d'une matiére inflexible & ſans péſanteur, nous aurions peu de choſes à ajouter à ce que nous avons dit & prouvé précédemment. Mais comme la néceſſité où l'on eſt de faire le fleau de quelque matiére dure, telle que du fer ou du cuivre, & de lui donner une figure & des dimenſions qui l'empêchent de plier, fait quelquefois perdre de vûë ce que preſcrit la théorie: je crois qu'il eſt à propos d'examiner en peu de mots ce qui peut rendre une balance juſte ou défectueuſe. IX. LEÇON.

Les qualités eſſentielles d'une balance ſont, 1°. d'être bien mobile, c'eſt-à-dire, que la plus petite différence entre les deux quantités de matiére dont elle eſt chargée faſſent trébucher le fleau, afin qu'on puiſſe regarder ſon état d'équilibre, comme

IX. LEÇON.

le ſigne certain d'une égalité parfaite dans les maſſes de part & d'autre, 1°. Que ſes bras ſoient toujours bien égaux ; car s'ils ne le ſont pas, ils meſureront des diſtances inégales du point d'appui aux points de ſuſpenſion où ſe font les efforts des puiſſances, & deux maſſes égales ne pourront point s'y mettre en équilibre. 3°. Que les bras ſoient dans une même direction ; car autrement il ſera difficile de juger s'ils font des angles égaux de part & d'autre avec les directions des puiſſances. Il n'eſt point facile de concilier enſemble ces trois points de perfection ; il ſe rencontre, dans la conſtruction de l'inſtrument, pluſieurs difficultés à vaincre ; & dans l'uſage même, une balance exige des attentions ſans leſquelles la plus exacte ceſſe de l'être.

La mobilité d'une balance dépend principalement de trois choſes ; ſçavoir, du plus ou moins de frottement qui ſe fait à l'axe, car on ſçait que c'eſt un obſtacle au mouvement ; de la poſition du centre de péſanteur qui peut être placé hors du centre de mouvement ; & de la longueur des

Fig. 21.

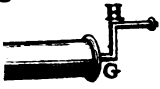


Fig. 22.

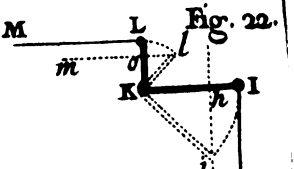
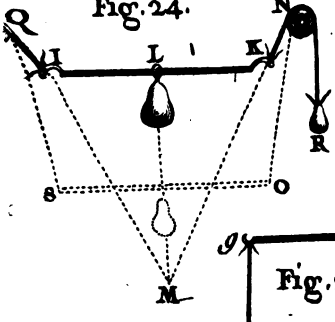


Fig. 24.



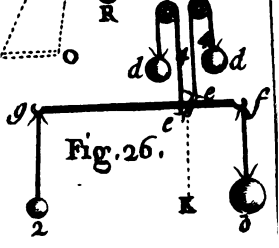


Fig. 26.

Fig. 23.

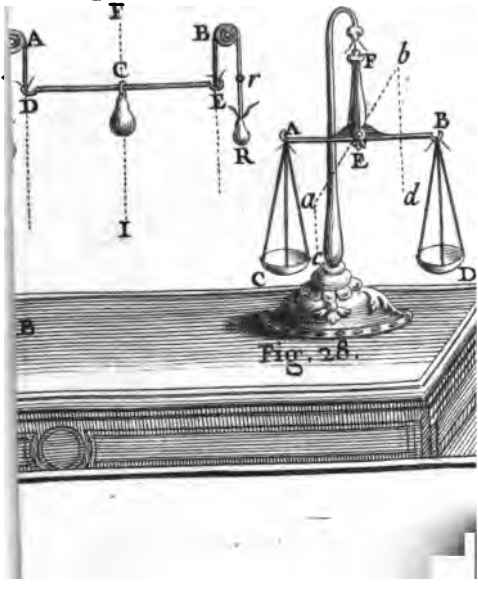


Fig. 28.

bras puiſqu'un très-petit poids peut faire un grand effort, étant fort éloigné du point d'appui.

IX. LEÇON.

Pour rendre la balance plus mobile par la diminution du frottement, il faut que la preſſion au point d'appui ſoit la moindre qu'il eſt poſſible; & c'eſt pourquoi l'on fait très-léger le fleau des balances d'eſſais, où l'on a beſoin d'une très-grande mobilité: mais il faut prendre garde auſſi qu'étant trop foible il ne plie ſous la charge des baſſins; car ſa courbure auroit d'autres inconvéniens dont nous ferons bien-tôt mention. C'eſt encore dans la vûë de diminuer le frottement de l'axe, qu'on le fait un peu en couteau: & cette pratique eſt bonne, pourvû cependant que l'endroit du trou ſur lequel il porte, ſoit comme lui très-dur; car autrement, ou il ſe creuſeroit avec le tems, ou il s'écraſeroit lui-même; & ſa mobilité au-lieu d'être augmentée, diminueroit conſidérablement.

Si le fleau de la balance eſt ſuſpendu par le centre de ſa peſanteur, ſes deux bras ſeront toujours en équilibre, dans quelque ſituation qu'on

IX. LEÇON.

les mette ; & pour peu que l'un des deux soit plus chargé que l'autre, la balance trébuchera : cette extrême mobilité devient incommode dans l'usage ordinaire, parce qu'il faut beaucoup de tems & d'attention pour charger les bassins avec une égalité aussi parfaite qu'il le faudroit pour les tenir en équilibre ; c'est pourquoi l'on a coûtume de placer le centre du mouvement au dessus de celui de la pésanteur. On peut voir, par la *Fig.* 29. avec quelle réserve il faut user de ce correctif, qui n'est, à proprement parler, qu'une imperfection mise à dessein ; car si le triangle *A B C* représente un fléau de balance mobile sur le point *C*, & qu'on lui fasse prendre une situation inclinée comme *ab*, le centre de pésanteur qui est dans la ligne *C D*, quand les deux bras sont dans un plan horizontal, se trouvera alors dans la ligne *C d*, & fera effort pour revenir dans la ligne verticale qu'il a quittée ; s'il est libre d'y revenir, l'accélération de sa chûte le fera passer outre, il viendra en *f* ; & c'est ce qui cause ces balancemens qu'on remarque à tous les fléaux, & qui

IX. LEÇON.

n'auroient pas lieu si le centre de pésanteur n'étoit plus bas que le centre de mouvement.

Puisque de tels fleaux ne peuvent s'incliner sans que le centre de pésanteur se déplace, & que ce déplacement ne peut se faire sans un effort particulier, il est évident que cette construction ôte à la balance une partie de sa mobilité, & qu'on ne doit éloigner le centre du mouvement que le moins qu'il est possible de celui de la pésanteur, surtout lorsque cet instrument doit servir à péser de marchandises précieuses dont les moindres quantités intéressent.

La longueur des bras contribue aussi à la mobilité de la balance, par la raison que nous avons dite : c'est un moyen qui pourroit par lui-même rendre sensible le poids des plus petites portions de matière ; mais un fleau de balance ne peut acquérir une plus grande longueur, qu'en devenant ou plus pésant ou plus flexible ; l'un & l'autre sont à craindre : le premier, parce qu'il augmente le frottement par une plus grande pression à l'axe : le second, par des raisons que nous allons rapporter.

IX. LEÇON.

La seconde condition que nous avons exigée pour faire une balance exacte, c'est que ses deux bras soient parfaitement égaux; or ce n'est point assez qu'ils le soient quand on construit l'instrument, il faut de plus qu'ils ne cessent point de l'être dans l'usage. Si le fleau n'a pas toute la roideur nécessaire, il se courbe sous la charge des bassins; & cette courbure, quelque petite qu'elle soit, diminuë la mobilité, & jette de l'incertitude sur les effets de la balance. Car premiérement, si la ligne droite *A B*, *fig.* 19. devient courbe comme *a C b*, les courbures de part & d'autre se réduisent aux deux lignes droites *a C*, *C b*, & forment, avec la ligne *a b*, un triangle auquel on peut appliquer ce qui a été dit de celui qui est représenté par la *Figure* 29. Secondement les directions des puissances *a f*, *b g*, ne font plus des angles droits avec les bras courbés du fleau. A la vérité, ceci n'est point un inconvénient, si ces angles, quoique différens de ce qu'ils étoient, sont toujours semblables entr'eux; & c'est, pour s'en assurer qu'on élève une aiguille à angles

gles droit sur le milieu du fleau. Si la chasse est suspenduë librement, elle prend d'elle-même une direction verticale qui fait connoître quand l'aiguille est perpendiculaire au plan de l'horizon, & alors on juge que les deux bras de la balance font des angles semblables, avec les directions des puissances dont ils sont chargés; mais cela suppose, comme l'on voit, ou que le fleau est demeuré droit, ou qu'il s'est courbé également de part & d'autre, car si la partie *C b* a plié davantage que celle de l'autre part, la ligne sera plus courte que *a C*, & son inclinaison ne sera pas la même.

IX. LEÇON.

Cette différence d'inclinaison qu'on doit appréhender si le fleau est flexible, & la difficulté d'en estimer le plus & le moins dans la pratique, sont des raisons sur lesquelles j'établis la troisiéme condition: si, par le choix de la matiére, par la façon de la travailler; par une figure ou par des dîmensions bien ménagées, on construit une balance de maniére que ses bras soient inflexibles, sans préjudicier aux autres qualités nécessaires ils feront toujours dans une même

IX. LEÇON.

direction, & leur équilibre dépendra uniquement de l'égalité des masses dont ils seront chargés ; cela ne doit s'entendre cependant que du fleau seul, & lorsqu'il n'est pas chargé de ses bassins ; car les points de suspension changent de place quand le fleau s'incline, & par cette raison l'une des puissances s'approche, & l'autre s'éloigne du point d'appui, comme on le verra par la *Figure* 31.

Soient *A*, *B*, les deux trous où l'on attache les crochets ou anneaux qui suspendent les bassins : tant que le fleau est horizontal, les points de suspension sont en *a* & en *b* à égales distances du centre du mouvement ; mais s'il s'incline comme *D E*, les anneaux gliſſent, & l'un des deux se trouve en *d* plus loin, & l'autre en *c*, plus près qu'il n'étoit du centre de mouvement. C'est par cette raison qu'un fleau seul fait beaucoup de balancemens, & qu'il en fait moins, quand il est chargé de ses bassins, sur-tout s'il s'incline considérablement, parce qu'alors il perd entiérement son équilibre.

On peut remarquer aussi que com-

me on fait ordinairement de grands trous pour donner plus de liberté aux anneaux, quoique leurs centres soient dans la même ligne que celui de l'axe, les deux bras du fleau, qui sont, à proprement parler, les deux lignes *a c*, *b c*, ne sont pas pour cela dans la même direction; & c'est une chose à laquelle on doit avoir égard dans la construction des balances, puisque cela seul peut être cause que le centre de pesanteur se trouve hors du centre de mouvement.

L'aiguille que l'on place sur le fleau pour connoître quand il est dans une direction horizontale, pése en partie sur l'un des deux bras, quand la balance s'incline, comme il paroît par la *Figure* 32, & par cette raison, toutes les fois qu'elle passe la ligne verticale d'un côté ou de l'autre, elle feroit cause d'erreur si l'on ne prévenoit cet inconvénient par un contre-poids *h i*, que l'on ménage dans la partie opposée sous le fleau; mais ce contre-poids n'empêche qu'une partie du mal, s'il n'est d'une pésanteur parfaitement égale à celle de l'aiguille, ce qui n'est point facile, quand

IX. LEÇON.

le fleau *m n*, l'aiguille *k l*, & le contrepoids *h i* sont d'une même piéce, comme cela se fait ordinairement.

La balance la mieux faite pourroit manquer d'exactitude par la maniére dont elle seroit mise en usage ; elle pourroit, par exemple, n'être plus assez mobile, & même devenir fausse, par inégalité de longueur dans ses bras, si l'on ne proportionnoit pas à la force du fleau les masses dont on charge les bassins ; car alors une grande pression à l'axe y causeroit trop de frottement, & les bras pourroient se courber, ce qui seroit équivalent aux défauts qui naîtroient d'une mauvaise construction. On courroit risque aussi de prendre pour équilibre ce qui ne le seroit pas, si la chasse mal suspenduë, ou gênée, ne prenoit pas une direction verticale ; car alors le fleau pourroit n'être pas horizontal sans qu'on s'en apperçût ; & l'on a pû voir, par tout ce qui a été dit ci-dessus, que cette position est celle où il y a le moins à craindre d'équivoque : elle n'en est pourtant pas absolument exempte ; on peut faire une balance fausse à qui l'on conservera cette pro-

priété d'être en équilibre avec elle-même dans une direction horizontale : un des deux bras peut être plus court, mais auſſi peſant que l'autre : tant que les baſſins ſeront vuides, l'équilibre ſubſiſtera ; mais s'ils ſont chargés de quantités égales de matiére, celui qui ſera ſuſpendu au plus long bras l'emportera ſur l'autre ; car des poids égaux ne peuvent point être en équilibre, qu'à des diſtances égales du point d'appui.

La balance Romaine, ou péſon qu'on a repréſenté par la *Fig.* 33. eſt encore un lévier du premier genre, qui différe de la balance ordinaire en ce qu'il met en équilibre deux puiſſances fort inégales entr'elles: un ſeul poids *P* que l'on met à différentes diſtances de l'axe ou point d'appui *C*, ſert à péſer des quantités beaucoup plus grandes les unes que les autres, que l'on attache au crochet *R*, parce que le bras de lévier *CH* étant gradué, & la puiſſance *P* étant connuë, on ſçait combien la réſiſtance a plus de maſſe, par la différence qu'il y a dans les diſtances compriſes entre l'une & l'autre & le point d'appui.

IX. LEÇON.

Nous ne nous arrêterons pas beaucoup à cet instrument, parce qu'on y peut appliquer presque tout ce qui a été dit ci-dessus touchant la balance ordinaire ; on remarquera seulement que le péson est d'un usage commode, en ce que n'ayant besoin que d'un seul poids qui n'est pas considérable, il est très-portatif en petit, & quand on l'employe en grand sur des masses qui sont très-pésantes, & qu'on ne peut pas diviser, on est dispensé d'avoir un grand nombre de poids difficiles à rassembler, & le point fixe en est beaucoup moins chargé ; mais il faut observer aussi que cet instrument ne peut pas servir à péser exactement de petites quantités, parce qu'il n'est point assez mobile, ce qui vient principalement de ce qu'un de ses bras est fort court.

DES POULIES.

La poulie, *Fig.* 34. est un corps rond & ordinairement plat, mobile sur son centre *C*, & dont la circonférence extérieure est creusée *en gorge* pour recevoir une corde ou une chaîne à laquelle on applique d'une part

la puiſſance *E*, *F* ou *G*, & de l'autre la réſiſtance *R*.

IX. LEÇON.

Il faut ou que la corde mene la poulie, ou que la poulie mene la corde; c'eſt pourquoi quand on a lieu de craindre que celle-ci ne gliſſe ſur l'autre, on creuſe la gorge en forme d'angle, ou bien on la garnit de pointes. *Fig.* 35.

Le corps de la poulie ſe meut pour l'ordinaire dans une chappe *C D*, qui ſoutient l'axe : on eſt dans l'uſage de fixer les deux bouts de l'axe dans la chappe, & de faire tourner la poulie deſſus; il vaudroit mieux fixer l'axe à la poulie, & faire tourner le tout enſemble dans les trous de la chappe, parce que le mouvement ſe faiſant ſur moins de ſurface, il y auroit moins de frottemens; & quand bien même les trous de la chappe s'aggrandiroient avec le tems, comme il n'y a que la partie inférieure qui reçoit l'effort, la poulie n'en tourneroit pas moins rondement, ce qui ne ſe peut faire, quand le centre de la poulie eſt trop ouvert.

Les expériences que nous allons rapporter feront connoître, 1°. qu'une

IX. LEÇON.

poulie peut être employée comme un lévier du premier genre, dont les bras ſont égaux, & ſur lequel deux puiſſances, dont les forces abſoluës ſont égales, demeurent toujours en équilibre, quelques directions qu'elles prennent. 2°. Que les puiſſances qu'on y applique, agiſſent d'autant plus fortement que leur diſtance à l'axe eſt plus grande. 3°. Que l'axe eſt chargé de la ſomme totale de la puiſſance & de la réſiſtance, & que ſon effort ſe fait dans une direction paralléle aux leurs, & qui tend à leur point de concours.

X. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure 36.* repréſente une machine compoſée de deux piliers élevés & fixés ſur une tablette plus longue que large, l'un porte une poulie à jour, de métal, & l'autre un lévier en équerre dont les bras ſont égaux, & qui tourne très-librement ſur ſon clou & dans le même plan que la poulie.

On fait paſſer d'abord ſur la poulie

un cordon aux bouts duquel on attache deux poids égaux *P*, *R*, qu'on laisse agir dans des directions paralléles & verticales comme *A P* & *B R*. IX. LEÇON.

Ensuite on transporte le poids *R* au cordon qui tient au bras *D* du lévier angulaire, & l'on place le cordon de la poulie, comme *P A*, *F E*.

Enfin le poids *R* étant rémis à sa premiére place, & le lévier angulaire étant tourné de maniére que *D* soit en *d*, & *E* en *e*, on attache le poids *P* au bout d'un cordon *d p*, & le cordon de la poulie qui le portoit, au bras *e* du lévier tournant.

EFFETS.

Les deux poids *P*, *R*, sont toujours en équilibre, non-seulement quand ils sont tous deux dans des directions paralléles & verticales, mais encore lorsque l'un des deux agit horizontalement sur la poulie, soit que la corde embrasse les trois quarts de la poulie, soit qu'elle n'en embrasse qu'un quart.

EXPLICATIONS.

La poulie *AFB*, peut être regardée

IX. LEÇON.

comme un assemblage de léviers du premier genre, dont les bras sont égaux, & qui ont un point d'appui commun au centre *C* où est l'axe. Lorsque le cordon est vertical de part & d'autre, s'il ne peut pas glisser sur la poulie, il doit avoir le même effet que s'il étoit de deux piéces, dont une fût attachée en *A*, & l'autre en *B*. Il y a donc équilibre entre les deux poids *P*, *R*, parce qu'ils agissent à des distances égales du point d'appui, & que chacun d'eux fait son effort dans une direction perpendiculaire au bras du lévier *AC*, ou *BC*.

L'équilibre subsiste par les mêmes raisons dans les deux autres cas ; les rayons *GC* & *FC* sont égaux aux deux premiers, *AC*, *BC* ; & les directions *EF* & *e G* leur sont perpendiculaires comme *RB* l'est à *BC* : toute la différence qu'il y a, c'est que les deux puissances agissent d'abord par un lévier droit *AB*, & qu'ensuite elles sont comme appliquées à des léviers angulaires *ACG*, ou *ACF* ; ce qui est la même chose, quant aux effets, comme nous l'avons fait voir ci-

* Page 47. dessus. *

XI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 37. repréſente une poulie compoſée de pluſieurs plans circulaires qui laiſſent entr'eux des épaiſſeurs, & dont les circonférences ſont creuſées en gorge ; les diamétres, & par conſéquent les rayons de ces cercles, ſont entr'eux comme les nombres 1, 2, & 3. Sur la plus petite des trois circonférences on a placé une corde à laquelle ſont ſuſpendus deux poids de 6 onces chacun ; & l'on a fixé en *a* & en *b* deux autres cordes qui embraſſent les deux autres circonférences, & qui pendent perpendiculairement aux points 2 & 3.

EFFETS.

Quand les deux poids ſont en *H* & en *I*, il y a équilibre entre 6 onces d'une part & 6 onces de l'autre. Si l'on ôte celui qui eſt en *H*, un autre poids de 3 onces fait la même choſe en *K* ; & quand celui-ci eſt ôté, 2 onces placées en *L* ſoutiennent le poids de 6 onces en *I*.

IX. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Le rayon *C* 1 étant égal à *C d*, il y a équilibre entre deux poids égaux, parce que leurs efforts se font à égales distances du point d'appui. Mais *C* 2, étant double de *C d*, l'équilibre doit naître entre deux masses qui sont en raison réciproque de ces deux longueurs; ainsi 3 onces en soutiennent 6: & par la même raison 2 onces suffisent à une distance qui égale trois fois *C d*.

XII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La poulie *G H*, *Fig.* 38. est suspenduë par son axe dans deux petites boucles de métal qui sont soutenuës de part & d'autre par des cordons qui passent sur deux petites poulies, & qui se réüniſſent à deux poids égaux *B*, *D*, de sorte que la grande poulie a deux mouvemens; car elle tourne sur son axe à l'ordinaire, & son axe peut descendre avec elle d'une certaine quantité, lorsque la résistance des poids *B*, *D*, vient à céder.

EFFETS.

IX. LEÇON.

Ces deux poids cédent, & la poulie tombe d'environ deux pouces, lorsque deux autres poids *E F*, qui pésent ensemble & avec la poulie un peu plus que *B*, *D*, se trouvent dans des directions paralléles & verticales: & la poulie remonte en partie, lorsqu'ayant ôté le poids *F*, on retient avec la main le cordon dans la direction *A C*.

EXPLICATIONS.

Quand les deux poids *E*, *F*, sont suspendus parallélement, leurs efforts sont perpendiculaires à *G*, *H*, qu'on doit regarder comme les extrêmités d'un lévier droit; & nous avons fait voir qu'en pareil cas le point d'appui porte la somme totale des deux masses; l'axe qui le représente, souffre donc de haut en bas un effort qui égale les deux poids *E*, *F*, & celui de la poulie pris ensemble; les deux autres *B*, *D*, qui s'opposent à sa chûte, & qui représentent sa résistance de bas en haut, sont un peu plus foibles que cette somme; c'est pourquoi

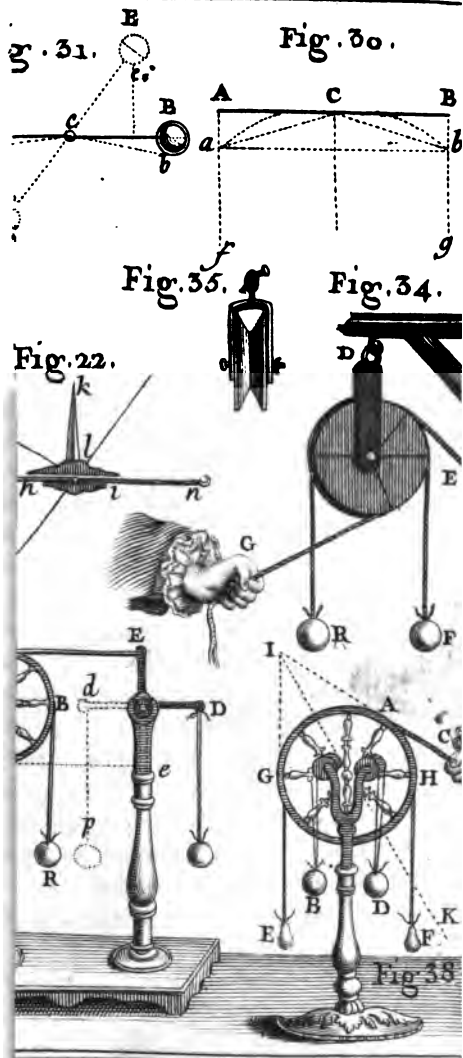
IX. LEÇON.

la poulie descend. Mais elle se relève, quand un des côtés de la corde cesse d'être paralléle à l'autre; car alors l'effort qu'il soutient se fait selon la ligne *I K*, & ne porte plus qu'obliquement contre les puissances *B*, *D*.

APPLICATIONS.

La poulie employée comme lévier du premier genre, est un moyen simple & commode, & dont on se sert fréquemment pour changer la direction du mouvement. Car de quelque maniére que se présente une puissance dans le plan où est la poulie, elle se trouve toujours perpendiculaire à quelqu'un des rayons, ce qui lui conserve toute son intensité. Ainsi quoiqu'un cheval ou un bœuf exerce naturellement sa force dans une ligne horizontale, on peut néanmoins par des renvois de poulies appliquer ses efforts à des résistances qui sont dirigées verticalement; quoiqu'un poids tende toujours à tomber, il peut être élevé, si par le moyen d'une poulie on le met en opposition avec un plus fort.

Les léviers coudés ou angulaires,


E
g. 31.
t
B
c
b
Fig. 30.
A
C
B
a
b
f
g
Fig. 35.
Fig. 34.
Fig. 22.
k
l
h
i
n
D
E
G
R
F
I
A
C
d
B
D
e
G
H
p
R
B
D
K
E
F
Fig 38

comme nous l'avons déja fait remarquer, changent bien auſſi les directions ; mais la poulie a cet avantage ſur eux qu'elle rend le mouvement continu, & qu'elle conſerve les puiſſances toujours dans les mêmes directions qu'on leur a fait prendre d'abord. Cette différence s'apperçoit aiſément par la ſeule inſpection des *Figures* 22. & 36. IX. LEÇON.

Comme une poulie qui a pluſieurs gorges concentriques *, peut ſervir à rendre égales des forces qui ſont différentes entr'elles, lorſque les diamétres de ces gorges ſont dans des rapports convenables ; on peut conſéquemment entretenir l'équilibre, ou bien un rapport conſtant entre deux puiſſances dont les forces relatives changent continuellement. Car au lieu de pluſieurs gorges concentriques, on peut n'en faire qu'une qui ne rentre pas ſur elle-même, mais qui prenant la forme ſpirale, s'éloigne peu-à-peu du centre, ſuivant la proportion dont l'une des deux forces s'affoiblit. * *Fig.* 37.

Une des plus heureuſes applications qu'on ait faites de cette conſéquence, c'eſt d'avoir rendu uni-

IX. LEÇON.

forme l'action des reſſorts qui animent les montres & les pendules. Nous avons dit dans la ſeconde leçon *, que ces reſſorts comme tous les autres, agiſſent toujours de plus en plus foiblement à meſure qu'ils ſe détendent ; le rouage qu'ils mettent en mouvement, leur oppoſant toujours la même réſiſtance, il eſt évident que la montre ou la pendule iroit toujours en retardant, pendant tout le tems que le reſſort mettroit à ſe développer, ſi l'on n'avoit pas trouvé un moyen de prévenir cet inconvénient. Au lieu d'envelopper ſur un cylindre la chaîne qui ſert à tendre le reſſort, on la reçoit ſur une fuſée, dont la figure * eſt telle, que les tours vont toujours en diminuant de diamétre, comme la tenſion du reſſort augmente. Tout l'art conſiſte à trouver ce rapport ; car la théorie ne peut ſervir qu'à en approcher, les Horlogers ſont toujours obligés d'en venir à des épreuves, parce que les reſſorts ne ſont jamais réguliérement flexibles & élaſtiques dans toutes les parties de leur étenduë.

* *Tome I. pag. 135. Fig. 20.*

* *Fig. 39.*

Quand on ſçait de combien l'axe d'une

d'une poulie doit être chargé, on est en état de lui donner les dîmensions les plus convenables : ce qu'on doit avoir principalement en vûë, c'eſt, premiérement, qu'il ſoit aſſez fort ; ſecondement, qu'il n'ait que la groſſeur néceſſaire, afin d'éviter les frottemens d'une trop grande ſurface. Mais comme la chappe d'une poulie eſt toujours attachée à quelque point fixe, il faut auſſi faire attention que ce qui la ſoutient ſoit aſſez ſtable pour réſiſter aux efforts qui ſe font ſur l'axe : il faut même avoir égard aux différentes directions que peuvent prendre ces efforts ; car tel appui reſiſteroit dans un cas, qui céderoit dans l'autre.

On peut auſſi conſidérer la poulie ſimple comme un lévier du ſecond genre ; elle en a effectivement les propriétés, lorſque la réſiſtance *R*, *Fig.* 40. étant attachée à la chappe, un des bouts de la corde tient à un point fixe *a*, ou *g*, pendant que l'autre eſt tiré ou ſoutenu par la puiſſance *P*, ou *d*. Et alors ou les directions de la puiſſance & de la réſiſtance ſont paralléles entr'elles comme *c I*, *d E*,

IX. LEÇON.

ou elles sont inclinées l'une à l'autre comme Pk, ck.

Dans le premier cas, la puissance ne porte que la moitié du poids de la résistance ; dans le second, l'effort de la puissance diminuë, & le point d'appui se dirige au point de concours des directions de la puissance & de la résistance, c'est-à-dire, en k.

XIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A, *B*, *Fig.* 41. sont deux petites broches longues de trois pouces, qui glissent dans deux rainures à jour, pratiquées aux deux bras du support *G* ; la premiére sert de point fixe à un cordon qui embrasse une poulie chargée d'un poids *D*, & dont l'autre bout s'attache au bras d'une balance dont on a ôté un bassin, & que l'on a mise en équilibre avec elle-même, par le moyen d'un petit poids attaché en *H* ; & cette balance est suspenduë à l'autre broche *B*.

On met d'abord les deux petites

broches à telle distance l'une de l'autre, que les deux bouts de la corde venant de la poulie soient paralléles entr'eux. IX. LEÇON.

Ensuite en écartant les deux broches, on fait prendre aux deux bouts de la corde, des directions inclinées en sens contraires ; & dans l'un & dans l'autre cas on charge le bassin de la balance, autant qu'il le faut pour tenir le fleau dans une situation horizontale.

EFFETS.

La poulie & son poids *D*, pésant ensemble 8 onces, il n'en faut que 4 dans le bassin de la balance pour faire équilibre, lorsque les deux bouts de la corde sont paralléles entr'eux, & dans une direction verticale ; mais lorsqu'ils sont inclinés comme *P l*, *g m*, de la *Fig.* 40. il faut charger davantage le bassin de la balance pour la tenir en équilibre.

EXPLICATIONS.

En considérant le bras *H* de la balance comme la puissance qui sou-

IX. LEÇON.

tient la poulie & ſa charge, après que l'autre bout de la corde eſt fixé en *A*, le poids que l'on met dans le baſſin exprime ſans équivoque l'effort qui ſe fait ſur la puiſſance, lorſque tout eſt en équilibre. Or, on voit par les réſultats la preuve de ce que nous avons avancé ci-deſſus, ſçavoir, 1°. que les directions des forces oppoſées étant paralléles, la puiſſance ne ſoutient que la moitié de l'effort de la réſiſtance; car dans le premier cas où les deux bouts de la corde ſont paralléles entr'eux, *c i* *, direction de la réſiſtance, eſt auſſi paralléle à *d e* qui eſt celle de la puiſſance, & 4 onces dans le baſſin de la balance, en ſoutiennent 8 en *D*. 2°. Que les directions des forces oppoſées n'étant plus paralléles, la puiſſance n'eſt plus égale à la moitié de l'effort de la réſiſtance, & que la direction du point d'appui paſſe au point de concours des deux autres directions; car dans le ſecond cas de l'expérience, où la puiſſance agit obliquement comme *P k*, 4 onces dans le baſſin de la balance ne ſuffiſent plus pour faire équilibre, &

* *Fig.* 40.

l'angle $g k c$, est égal à celui de l'autre part $P k c$.

Quand les deux bouts de la corde sont paralléles, comme $a b$, $d e$, on peut les considérer comme étant attachés aux deux extrêmités du diamétre $b e$; lorsqu'ils sont obliques, comme $P l$, $g m$, on peut les concevoir comme tenant aux points de tangence l, m : mais les deux lignes $e b$, $m l$, sont deux léviers du second genre partagés l'un & l'autre en deux bras égaux par la direction $c i$ de la réſiſtance; le cordon ſuſpendu en a, ou en g, tranſportant le point fixe en b ou en m, on voit tout d'un coup, que la puiſſance appliquée en e ou en l, agit toujours à une diſtance $e b$, ou $l m$, du point d'appui, double de celle de la réſiſtance placée en c ou en i. Or ſuivant ce qui a été enſeigné touchant le lévier, 4 onces à une diſtance double du point d'appui, ſont capables d'en ſoutenir 8.

Mais quand la puiſſance ſe dirige obliquement, elle ne ſuffit plus aux mêmes effets qu'auparavant; parce que la direction perpendiculaire au bras du lévier, eſt comme nous

IX. LEÇON

l'avons fait voir, la plus avantageuſe de toutes, & que par conſéquent toutes les autres le ſont moins. Il eſt vrai que *P l* eſt perpendiculaire au rayon *l c*; mais ce rayon par qui l'on peut concevoir que la puiſſance agit, eſt oblique à *c i*, direction de la réſiſtance, ce qui revient au même.

Enfin le point d'appui dirige ſon effort par *g m*, quand la puiſſance s'incline comme *P l*; parce que dans l'inſtant de cette inclinaiſon la poulie n'étant point ſoutenuë du côté de la puiſſance, elle roule juſqu'à ce qu'elle le ſoit également de part & d'autre, ce qui n'arrive que quand l'angle *g k c* eſt égal à celui de l'autre part *P k c*.

APPLICATIONS.

Puiſque quand on a fixé la corde de la poulie en *A*, *Fig.* 41. il ne faut plus en *H*, qu'une force de 4 onces pour en ſoutenir une autre de 8 en *D*; & qu'une force de 4 onces eſt toujours la même, ſoit qu'elle agiſſe de haut en bas, ſoit que ſon effort ſe faſſe de haut en bas par le moyen d'une balance; on peut donc ſubſ-

tituer au fleau *H K*, une autre poulie *L* ou *l*, *Fig.* 42. qui fera comme lui l'office d'un lévier du premier genre, & il n'y aura jamais en *M* ou en *m*, qu'un effort de 4 onces à soutenir.

Si, pour réſiſter à cet effort de 4 onces, on prolonge la corde de *M* en *N*, *Fig.* 43. & qu'on la faſſe paſſer ſous une troiſiéme poulie *N O*; celle-ci ſemblable à la premiére deviendra un lévier du ſecond genre, où la puiſſance *O*, une fois plus loin du point d'appui *N*, que la réſiſtance qui change l'axe, n'aura beſoin que d'une force abſoluë qui ſoit moitié de la ſienne; il ne faudra donc plus qu'un effort de 2 onces de bas en haut, & s'il eſt plus commode de tirer de haut en bas, une quatriéme poulie donnera, comme la deuxiéme, cette direction.

La ſeconde & la quatriéme poulies qui ſervent de renvoi pour changer la direction, peuvent être placées dans une même chappe, & ſi cette chappe eſt fixée par en haut, ſa partie inférieure pourra elle-même ſervir de point fixe au premier bout

IX. LEÇON.

de la corde que nous avons supposé être attachée en *F*.

Cette maniére de placer ainsi dans une même chappe plusieurs poulies ou parallélement entr'elles, ou les unes au-dessus des autres, est connuë depuis long-tems sous le nom de *mouffles*, ou poulies *moufflées*. Ces machines sont fort en usage pour élever de grands fardeaux, & elles sont commodes en ce qu'elles occupent peu de place, & que l'on peut sans embarras augmenter à son gré l'action d'une même puissance; mais cela ne se fait, comme dans toutes les autres machines, qu'aux dépens d'une plus grande vîtesse dans la puissance: car si la poulie qui est chargée de la résistance, *Fig.* 40. s'éleve jusqu'à la ligne *d a*, il est évident que la puissance qui produit cet effet, parcourt deux fois autant de chemin dans le même tems, puisque les deux parties *a b*, *d e*, de la corde par laquelle elle agit, doivent se trouver au-dessus de la ligne *d a*, quand le centre de la poulie y sera parvenu; or ces deux longueurs *a b*, *d e*, égalent deux fois la hauteur *c h*.

L'avantage

IX. LEÇON.

L'avantage que les poulies mouflées donnent à la puiſſance, ne peut pas être augmenté à l'infini; quand une fois les mouffles contiennent une certaine quantité de poulies, les frottemens inévitables cauſent enſuite un dechet dans le produit des forces motrices, qui ſurpaſſe ce qu'on pourroit gagner en augmentant encore le nombre des poulies.

On doit auſſi diſpoſer les mouffles de façon que les directions des cordes ſe trouvent paralléles le plus qu'il eſt poſſible; car nous avons fait voir que les puiſſances qui agiſſent obliquement, en ont moins de forces, toutes choſes égales d'ailleurs.

DES ROUES.

Une *roue* eſt, comme la poulie, un corps rond, ordinairement plat, & mobile ſur ſon centre: la circonférence, au lieu d'être creuſée en gorge, reçoit le mouvement qu'on lui communique, ou tranſmet celui qu'elle a reçu, par ſon frottement, ou par certaines parties ſaillantes qu'on y réſerve ou qu'on y ajoûte, & que l'on nomme *dents*, *chevilles* ou *vannes*, ſuivant

IX. LEÇON.

la forme & la grandeur qu'elles ont.

Les roues se meuvent de deux façons ; ou elles tournent toujours dans le même lieu, avec un axe qui est attaché à leur centre, & dont les pivots tournent dans des trous qui servent d'appui, comme on voit dans les horloges, tournebroches, moulins, &c. ou bien roulant sur leur circonférence, elles portent leur centre, & l'axe qui le traverse, dans une direction parallèle au plan ou au terrain qu'elles parcourent : telles sont celles que l'on met aux carosses & aux autres voitures.

Les roues qui n'ont qu'une sorte de mouvement, dont les axes ne font que tourner, doivent être considérées comme des léviers du premier genre, qui servent de même que la poulie, à changer la direction du mouvement, à le transmettre au loin, à rendre égales entre elles des puissances fort différentes l'une de l'autre, à augmenter la vîtesse dans l'une des deux.

1°. Les deux dents *A*, *B*, *Fig.* 44. peuvent être prises pour les extrêmités d'un lévier partagé en deux bras égaux par le point fixe ou centre de

Fig. 44.

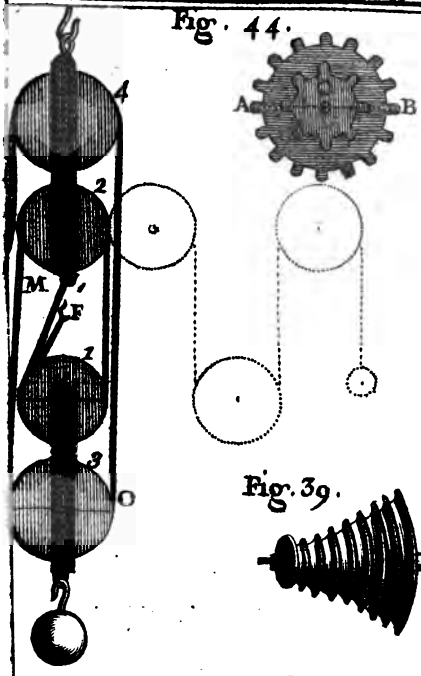
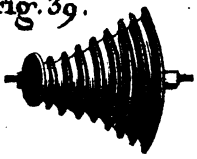


Fig. 39.



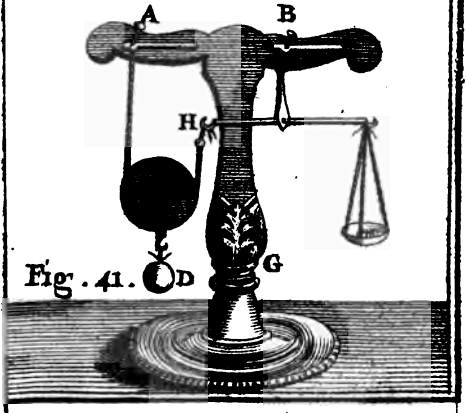


Fig. 41.

mouvement *C*; & si l'on place sur le même axe une autre roue une fois plus petite, celle des deux puissances qui agit par la dent *a*, étant une fois plus près du centre que l'autre, devient par cette raison une fois plus foible. On peut donc par ce moyen rendre égale la force d'une livre à celle de deux. IX. Leçon.

2°. On auroit encore le même effet, si la petite roue, au lieu d'être immédiatement appliquée sur la grande, étoit à l'autre bout de l'axe; de cette maniére le mouvement de la grande roue *H*, *Fig.* 45. se peut transmettre à une grande distance par la petite roue ou pignon *D*, qui tient au même arbre.

3°. Si ce dernier pignon engréne une autre roue *E*, qui ait des dents paralléles à son axe, le mouvement qui lui sera transmis changera de direction, & deviendra horizontal de vertical qu'il étoit.

4°. Enfin si la roue *E* a quatre fois plus de dents que le pignon *D*, comme celui-ci ne peut se mouvoir sans la roue verticale *H*, il faut que l'une & l'autre fassent quatre tours, pour

IX. LEÇON.

faire tourner une fois la roue horizontale *E* : & réciproquement si l'on tourne une fois celle-ci, on fera tourner quatre fois le pignon, l'arbre & la roue verticale. Si l'on suppose donc à chacune des deux grandes roues une manivelle *F*, ou *G*, menée par un homme, qui lui fasse faire un tour dans une seconde ; le mouvement aura quatre fois plus de vîtesse, lorsqu'il fera tourner la manivelle *F*, que quand on appliquera la même puissance en *G*.

Quant aux roues qui ont deux sortes de mouvemens, comme celles des voitures, dont le centre s'avance en ligne droite, pendant que les autres parties tournent autour de lui ; on doit les regarder le plus souvent comme un levier du second genre, qui se répete autant de fois qu'on peut imaginer de points à la circonférence. Car chacun de ces points est l'extrêmité d'un rayon appuyé d'une part sur le terrain, & dont l'autre bout chargé de l'essieu qui porte la voiture, est en même tems tiré par la puissance qui la mene : de sorte que si le plan étoit parfaitement uni &

de niveau ; si la circonférence des rouës étoit bien ronde & sans inégalités, s'il n'y avoit aucun frottement de l'axe aux moyeux, & si la direction de la puissance étoit toûjours appliquée parallélement au plan, une petite force meneroit une charrette très-pésante. Car la résistance qui vient de son poids, repose entiérement sur le terrain par le rayon *C M*, *Fig.* 46. ou par un semblable qui lui succéde l'instant d'après.

IX. LEÇON.

Mais de toutes les conditions que nous venons de supposer, & dont le concours seroit nécessaire pour produire un tel effet, à peine s'en rencontre-t'il quelqu'une dans l'usage ordinaire.

Les rouës des charrettes sont grossiérement arrondies & garnies de gros cloux ; les chemins sont inégaux par eux-mêmes, ou ils le deviennent par le poids de la voiture qui les enfonce ; ces inégalités, soit des rouës, soit du terrain, font appuyer la rouë par un rayon *C Q* ou *CN*, oblique à la direction de la puissance *PC*, ou à celle de la résistance *C M* ; le poids qui réside en *C* pése

IX. LEÇON.

donc en partie contre la puissance, qui ne peut le faire avancer, qu'en le faisant monter autant que le point *Q* ou *N* est au-dessus de *M*.

D'ailleurs, quand les circonférences rouleroient sur des surfaces parfaitement unies & droites; il se fait indispensablement de l'essieu aux moyeux, un frottement qui est de nature à être toûjours considérable, comme nous l'avons remarqué dans la troisiéme Leçon. * * *Tome I. p. 233.*

Les creux & les hauteurs qui se rencontrent dans les chemins, changent aussi la direction de la puissance. Un cheval placé plus haut ou plus bas, par la disposition du terrain, au lieu de faire son effort par la ligne *C P*, *Fig. 46.* paralléle à la portion du plan qui porte actuellement les roues, le fait assez souvent par *C S*, ou *C R*, c'est-à-dire, obliquement à la direction *C M* de la résistance, & par conséquent avec désavantage.

Mais s'il n'est pas possible de se mettre absolument au-dessus de toutes ces difficultés, on peut cependant les prévenir en partie, en employant de grandes roues; car il est

IX. LEÇON.

certain que les petites rouës s'engagent plus que les grandes, dans les inégalités du terrain, comme on le peut voir par la *Fig.* 47. & parce que la circonférence d'une grande rouë mesure en roulant, plus de chemin que celle d'une petite ; elle tourne moins vîte, ou elle fait un plus petit nombre de tours pour parcourir un espace donné, ce qui épargne une partie des frottemens.

Nous entendons par grandes rouës celles qui ont cinq ou six pieds de diamétre ; dans cette grandeur, elles ont encore l'avantage d'avoir leur centre à peu près à la hauteur du trait d'un cheval, ce qui met son effort dans une direction perpendiculaire au rayon qui pose verticalement sur le terrain, c'est-à-dire, dans la direction la plus favorable, au moins dans les cas les plus ordinaires.

Du TREUIL, *ou* TOUR : *&* *du* VINDAS *ou* CABESTAN.

L'inspection seule des *Figures* 48. *&* 49. suffit pour faire connoître que ces deux machines, à proprement

IX. LEÇON.

parler, ſont la même à qui l'on donne différens noms, ſelon les différentes poſitions dans leſquelles on l'employe. Quand le rouleau ou cylindre *A B*, qui reçoit la corde, & qui eſt la partie principale, ſe trouve placé horizontalement, la machine ſe nomme *Tour* ou *Treuil*; elle s'appelle *Vindas* ou *Cabeſtan*, quand ce même rouleau eſt vertical.

Ces deux machines ſont employées fréquemment aux puits, aux carriéres, dans les bâtimens, pour élever les pierres & autres matériaux, ſur les vaiſſeaux & dans les ports, pour lever les ancres, &c. Et quand on y fait attention, on les retrouve en petit, dans une infinité d'autres endroits où elles ne ſont différentes que par la façon, ou par la matiére dont elles ſont faites. Les *tambours*, les *fuſées*, les *bobines*, ſur leſquelles on enveloppe les cordes ou les chaînes, pour remonter les poids ou les reſſorts des horloges, des pendules, des montres mêmes, &c. doivent être regardés comme autant de petits treuils & de petits cabeſtans.

Ce que nous avons dit des pou-

lies & des rouës, comprend ce qu'il y a de plus important à ſçavoir touchant le treuil ; car ſi l'on conçoit l'arbre tournant comme une ſuite de poulies enfilées ſur le même axe, ſi l'on conſidére les léviers en croix, qui ſervent à le mettre en mouvement, comme des rayons prolongés, de la premiére de ces poulies ; enfin, ſi l'on fait attention, que quand l'axe tourne, tout ce qui fait corps avec lui participe à ſon mouvement ; on verra tout d'un coup que cette machine fait l'office d'un lévier ſans fin, du premier ou du ſecond genre, qui a deux bras inégaux à compter du point fixe *h*, ſçavoir, le demi-diamétre du cylindre *g h*, *Fig.* 50. par lequel agit la réſiſtance, & un autre rayon *h k* du même cylindre prolongé par un des léviers qui forment la croix, & par lequel la puiſſance fait ſon effort. IX. LEÇON.

La puiſſance *P* ou *p* eſt donc à la réſiſtance *G*, comme la longueur *P h*, ou *p h*, eſt à *g h*, ou *k h* ; c'eſt-à-dire ; que ſi chacun des léviers croiſés, à compter depuis le centre du cylindre, eſt quatre fois plus long que le

IX. LEÇON.

demi-diamétre gh, un poids de 400 livres, attaché à la corde Gg, peut être soûtenu par un effort équivalent à 100 livres, qui réſiſteroit en P.

Mais ſi l'on n'avoit qu'un effort de 100 à employer de cette maniére contre 400; lorſque le lévier P viendroit à tourner, la puiſſance prendroit une direction déſavantageuſe & ne ſuffiroit plus, comme on l'a expliqué en parlant des manivelles; & d'ailleurs, ſi ces léviers croiſés étoient fort longs, un homme ne pourroit pas facilement quitter l'un pour reprendre l'autre; c'eſt pourquoi aux carriéres, aux miniéres, & dans les gruës où le treuil eſt employé en grand, les léviers croiſés aboutiſſent à une circonférence, & forment une grande roue que l'on garnit de chevilles, comme T, T. *Fig.* 51. Par ce moyen la force des hommes, toûjours appliquée à une même diſtance du centre de mouvement, agit uniformément, & pluſieurs peuvent travailler en même tems par un même rayon ſans s'incommoder réciproquement.

Si la corde après avoir enveloppé le rouleau dans toute ſa longueur,

Fig. 46.

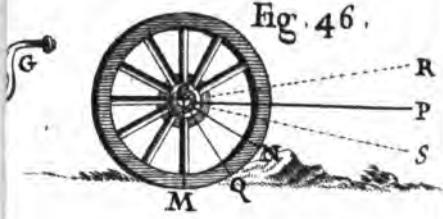


Fig. 48.

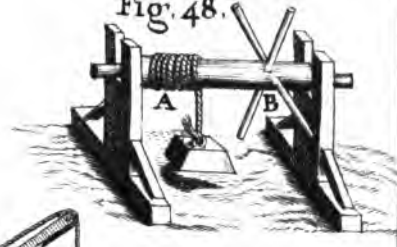


Fig. 50.

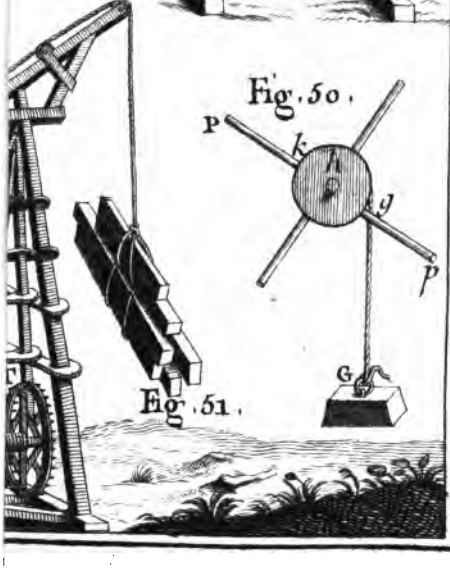


Fig. 51.

retournoit sur elle-même pour l'envelopper une seconde ou une troisiéme fois, comme il arrive quand on se sert du treuil pour élever des fardeaux à une grande hauteur ; il faut avoir égard à l'augmentation du diamétre du rouleau ; car puisque son rayon est le lévier de la résistance, quand le diamétre de la corde est ajoûté une ou deux fois à la longueur de ce rayon, l'effort du fardeau se trouve plus loin de l'axe ou point d'appui, ce qui l'augmente d'autant.

IX. Leçon.

II. SECTION.

Du Plan incliné.

EN traitant de la pesanteur dans la sixiéme leçon,* nous avons donné la définition du plan incliné, & nous avons fait connoître comment & dans quels rapports il retarde la chûte des corps graves. Nous supposerons donc comme une vérité prouvée, qu'une masse qui roule ou qui glisse de haut en bas le long d'un plan in-

* *Tome II. pag. 177. & suiv.*

IX. LEÇON.

cliné, est en partie soûtenuë par ce plan, & qu'elle l'est d'autant plus, que l'inclinaison est plus grande.

Il suit de ce principe, qu'une puissance appliquée à soûtenir un corps sur un plan incliné, n'a pas besoin d'être égale au poids de ce corps : & comme un poids n'est autre chose qu'une force dont la direction est déterminée ; on peut dire plus généralement, qu'une puissance quelconque, qui est obligée de suivre un plan incliné à sa direction, peut être égalée ou vaincuë par une autre puissance plus foible.

Mais puisqu'un plan fait obstacle à la chûte d'un corps, parce qu'il est oblique à la direction de la pesanteur, on doit présumer qu'il affoiblira de même toute autre puissance dont la direction sera oblique à la sienne ; & en effet l'expérience prouve, 1°. Qu'une petite force en soûtient une plus grande sur un plan incliné ; 2°. Qu'une petite force employée contre une plus grande, n'agit jamais avec autant d'avantage, que quand sa direction est paralléle au plan incliné, par lequel elle fait son effort.

PREMIERE EXPERIENCE. IX. LEÇON.

PREPARATION.

La machine qui eſt repréſentée par la *Fig.* premiére, eſt compoſée d'une tablette *A C*, longue d'environ 15 pouces & large de trois ou quatre; elle eſt jointe par une charniére en *C* à une autre tablette au bout de laquelle eſt fixé un quart-de-cercle qui ſert à régler & à fixer ſon inclinaiſon: *D* eſt un cylindre de bois dur qui péſe 5 ou 6 onces, & qui tourne très-librement ſur ſon axe, dans une eſpéce de chappe de métal, ſoûtenuë par deux cordons qui paſſent ſur deux poulies de renvoi *e*, *e*, & au bout deſquels ſont attachés deux poids *d*, *d*, de deux onces chacun. Les deux petites poulies ſont portées par une piéce de métal, que l'on peut placer à différens endroits ſur le quart-de-cercle.

On incline le plan *A C* un peu plus que de 45. degrés; on place le cylindre ou rouleau *D* en ſa partie inférieure, & l'on met les poulies de renvoi de façon que les cordons qui tirent le rouleau ſoient paralléles au

IX. LEÇON.

plan incliné, & on laisse agir les deux poids *d*, *d*.

Ensuite on répète la même chose, excepté seulement qu'on place les poulies de renvoi en *E* ou en *F*, afin que leurs directions se trouvent au-dessus & au-dessous du plan incliné, & faisant un angle avec lui, comme *ADF*, ou *ADE*.

EFFETS.

Les cordons étant dans une direction parallèle au plan incliné, les deux poids qui pèsent ensemble 4 onces, commencent à enlever le rouleau qui en pèse environ 6. Mais lorsqu'on a placé les poulies en *F* & en *E*; ces mêmes poids ne suffisent plus pour faire monter ni même pour arrêter le rouleau. Le même effet arrive, si, au lieu de changer les poulies de place, on incline plus ou moins le plan *AC*.

EXPLICATIONS.

Le rouleau de notre expérience est un corps grave qui est naturellement déterminé à se mouvoir de haut en bas, & perpendiculairement

au plan de l'horizon, deux causes concourent à l'arrêter; la première est la résistance du plan incliné sur lequel il pose; la seconde est l'effort des deux poids *d*, *d*. Si cette dernière cause agissoit seule, il faudroit que la somme des deux poids fût égale à la masse du rouleau; on a vû par le résultat de l'expérience, que 4 onces en soutiennent 5 ou 6, par le moyen du plan incliné? il est donc indubitable qu'en pareil cas une petite force en peut soutenir une plus grande. IX. LEÇON.

Pour rendre raison de cet effet, supposons que la ligne *a c*. *Fig.* 2. soit le plan incliné, que le cercle *d f g* est la base du cylindre ou rouleau, que tout le poids de ce corps réside au centre *k*, & qu'il est en équilibre avec une puissance dont la direction est *k p*, pendant que son poids le sollicite à tomber par la ligne *k h*, perpendiculaire à l'horizon *b c*, Voilà donc deux forces appliquées à l'extrémité *k*, d'un même rayon ou lévier, dont l'autre bout *d* est appuyé sur le plan; mais l'une des deux fait avec ce lévier un angle droit *p k d*,

IX. LEÇON.

elle agit dans la direction la plus avantageuse qu'elle puisse avoir ; l'autre au contraire agit par une ligne inclinée à ce même levier, & fait avec lui un angle aigu *d k h*, ce qui le réduit à la longueur *d e*, selon ce que nous avons enseigné dans la section précédente ; ainsi comme *d e*, est plus court que *d k*, on peut dire que le poids du rouleau le céde d'autant à la puissance *p* : & pour ramener ceci à une régle générale, on doit faire attention que le triangle *d k e*, est semblable à celui qui représente le plan incliné *a b c*, & que les deux lignes *d e d k*, par conséquent, ont le même rapport entr'elles que *a b* & *a c* ; d'où il suit cette proposition, que *le poids du mobile est à la puissance qui le soutient, comme la hauteur du plan incliné est à sa longueur* ; c'est-à-dire, que si la ligne *a b*, hauteur du plan, est à la ligne *a c*, qui exprime sa longueur, dans le rapport de 2 à 3, avec un effort de 2 onces on peut soutenir un poids de 3 onces, placé sur un plan incliné.

Mais comme la puissance n'a cet avantage sur la résistance qu'en conséquence

séquence d'une direction plus favorable à son effort, elle doit en avoir moins lorsqu'elle cesse d'agir parallélement au plan; car dans toute autre position, elle est inclinée au rayon *dk*. Le plan incliné n'est favorable à la puissance, que parce qu'il soutient en partie le poids du mobile. Quand cette puissance agit au-dessus du plan comme *ki*, elle ne laisse pas porter au plan tout ce qu'il pourroit porter; & si elle s'en éloigne jusqu'à tirer directement le poids suivant la ligne *kl*, il est évident qu'alors le plan n'est plus chargé de rien, & que l'effort de la puissance doit-être égal au poids du mobile pour le soutenir, Lorsqu'elle agit au dessous du plan, comme *km*, une partie de sa force est employée en pure perte contre le plan; & l'on conçoit bien que si elle s'abaissoit jusqu'à prendre la direction *kn*, la résistance du plan devenant directe, l'empêcheroit d'avoir aucune action contre le poids du mobile.

IX. LEÇON.

APPLICATIONS.

L'expérience que nous venons

IX. Leçon.

d'expliquer fait voir, non seulement qu'on peut tirer avantage des plans inclinés pour vaincre des résistances, ou pour soutenir de grands poids avec des forces moins grandes qu'il n'en faudroit employer pour les arrêter, ou pour les élever dans une direction verticale ; elle fait connoître aussi, qu'un mobile dont le centre de pésanteur n'est point soutenu, doit toujours tomber, quoiqu'il pose d'ailleurs. Car il ne suffit pas que le rouleau porte au point *d* sur le plan ; * sans l'effort de la puissance *p*, il rouleroit de haut en bas, parce que le centre de sa pésanteur qui agit dans la direction *k h* n'est point soutenu.

* *Fig.* 2.

C'est ainsi qu'on peut rendre raison d'une infinité d'effets dont on est surpris, & qu'on a peine à expliquer, quand on ignore, ou qu'on ne fait point attention à ce principe. La *Fig.* 3. par exemple, représente un solide *A* composé de deux cônes qui sont joints par leurs bases ; on pose ce corps sur deux régles *BC*, *DC*, qui font ensemble un angle aigu, & qui sont plus élevées par l'autre bout *B*, *D*, de sorte qu'il est comme sur

un plan incliné ; lorſqu'on le laiſſe libre, il monte en roulant, & ſuit en apparence une route toute contraire à celle que tous les corps graves ont coûtume de prendre. IX. LEÇON.

Cet effet vient de ce que le centre de gravité du corps *A* n'eſt point ſoutenu ; car lorſqu'il eſt placé en *C*, il y reſteroit en repos, s'il portoit ſur un rayon *ae*, perpendiculaire au plan horizontal *ef* ; *Fig.* 4. mais comme les deux regles font un angle, elles touchent ce double cône par des points qui ſont plus reculés comme *g* : ainſi le centre de gravité qui eſt en *a* porte à faux, & le corps entier commence à rouler de *C* vers *B*. A meſure qu'il s'avance dans cette direction, les deux régles étant de plus en plus écartées, le mobile deſcend d'une quantité égale au démi-diamêtre *ae*, plus grande que la hauteur *fB*, à laquelle il ſemble s'être élevé ; & le point *a*, par rapport à l'horizon, deſcend réellement de la quantité *hB*.

Si les corps tombent toutes les fois que le centre de gravité n'eſt point ſoutenu, il eſt vrai de dire auſſi qu'ils ne tombent jamais, tant que ce mê-

IX. LEÇON.

me centre est appuyé ; c'est pour cela qu'on voit tant d'édifices, qui ont perdu leur à-plomb & qui ne laissent pas que de se soutenir, & certains ouvrages bâtis en saillie, qui ne manquent point pour cela de la solidité qu'il leur convient d'avoir.

On seroit-peut-être tenté de croire que c'est pour le bon air qu'un danseur de corde gesticule presque toujours des bras ; mais la vraie raison, c'est que comme il marche sur une espéce de plan très-mobile, qui s'incline continuellement, & de différentes maniéres sous ses pas : lorsqu'il s'apperçoit que le centre de sa pésanteur n'est pas soutenu, il le rappelle dans la ligne de direction, en allongeant le bras du côté opposé, comme un lévier dont le poids est d'autant plus puissant que ses parties sont plus loin du centre de leur mouvement : & lorsqu'il n'est point encore assez habile dans son art, il employe pour cet effet un contrepoids, qu'il avance à droite & à gauche, selon le besoin.

Les enfans qui commencent à marcher, & qui n'ont point encore

acquis l'habitude de diriger leurs corps relativement aux différens plans sur lesquels ils passent, évitent, par les mouvemens de leurs bras, une partie des chûtes auxquelles les expose presque continuellement une démarche qui n'est pas encore bien assûrée. IX. LEÇON

Pourquoi les personnes qui ont un gros ventre se panchent-elles en arriére ? c'est que sans cette attitude, le centre de pésanteur trop peu soutenu, les mettroit en danger de tomber sur la face. Un crocheteur au contraire, qui porte un gros fardeau sur le dos, se courbe en avant, parce que sa charge & lui ont un centre de gravité commun, qui le plus souvent se trouve placé hors du porteur, & qui ne seroit point soutenu s'il marchoit droit. Il faut donc de nécessité qu'il se penche jusqu'à ce que ce centre se trouve dans une ligne verticale qui passe entre ses deux pieds.

Quand on veut se tenir debout sur une jambe, on est obligé de faire un mouvement de côté, pour mettre le corps perpendiculairement sur celui des deux pieds qui doit le sou-

IX. LEÇON.

tenir ; si l'on veut se baisser en portant la tête en avant, il faut nécessairement porter en arrière la partie opposée, pour entretenir l'équilibre entre l'une & l'autre ; voilà pourquoi si l'on ne peut ni se tenir sur un seul pied, ni rien ramasser devant soi en se baissant, lorsque l'on a immédiatement à côté & derrière soi un mur ou un arbre qui empêche les mouvemens qu'il faut faire, pour placer ou pour maintenir le centre de gravité dans la ligne de direction qui passe au point d'appui.

DES MACHINES

Qui sont composées de plans inclinés.

Parmi les machines qui agissent comme plans inclinés, les plus simples, & celles dont l'usage est le plus commun, sont les *Coins* & les *Vis* : je me bornerai à ces deux espèces ; & en examinant leurs principales propriétés, j'en indiquerai quelques autres qui peuvent s'y rapporter.

DU COIN.

On donne communement le nom

IX. LEÇON.

de Coin à un corps dur compoſé de trois plans qui terminent deux triangles comme *D A C*, *Fig.* 5. les deux plus longs de ces plans forment un angle à la ligne *A a*, qu'on appelle *la Pointe* ou *le Tranchant* : le plus petit *D c*, qui détermine leur écartement ſe nomme *la Baſe*, ou *la Téte*, & la hauteur ſe meſure par la ligne *A B* qu'on regarde auſſi comme l'axe du coin.

On ſe ſert ordinairement de cette machine pour fendre, ſoulever, ou preſſer quelque matiére; & pour la faire agir, on employe la preſſion d'un reſſort ou d'un poids, & plus communément encore le choc d'un corps dur qu'on fait mouvoir avec une certaine vîteſſe, comme un marteau, un maillet, &c.

Le plus ſouvent la réſiſtance que l'on a à vaincre avec le coin, vient de la ténacité des parties qu'il faut déſunir & écarter, cette adhérence qui varie à l'infini, ſelon la nature des corps, leur grandeur, leur figure, & quantité d'autres circonſtances, ne peut s'eſtimer que très-difficilement; d'un autre côté, la percuſſion que l'on

IX. LEÇON.

employe pour faire agir le coin, eſt une force qu'il eſt bien difficile de comparer ſans erreur à celle d'une ſimple preſſion, parce que le produit de ſon effort ne dépend pas ſeulement de la quantité du mouvement dans le corps qui frappe, mais encore de la nature de celui qui eſt frappé, de la maniére dont il reçoit le coup, & de pluſieurs autres cauſes qui influënt ſouvent plus ou moins qu'on ne l'a penſé. J'écarterai donc toutes ces conſidérations comme étrangéres à mon objet préſent; & pour me renfermer préciſément dans les propriétés du coin, je ſuppoſerai des puiſſances dont on connoît la force abſoluë, comme des poids ou des reſſorts d'une force déterminée, afin de n'avoir plus à conſidérer que les rapports que prénnent entr'elles la puiſſance & la réſiſtance, par la ſeule interpoſition du coin.

En conſidérant les différentes maniéres dont le coin peut agir, j'en conçois principalement deux, auſquelles il me ſemble qu'on peut rapporter toutes les autres avec des modifications. Premiérement, j'imagine deux

deux corps *A*, *B*, *Fig. 6.* appuyés sur un plan bien solide sur lequel ils ne puissent que glisser ou rouler dans les directions *C D*, *C D*; je suppose aussi qu'une force déterminée, comme de 10 livres, par exemple, appliquée en *E*, s'oppose à ce mouvement: si je fais descendre entre les deux corps, le coin *F G H* de toute sa hauteur; il est certain qu'à la fin de cette action les deux mobiles *A*, *B*, seront écartés l'un de l'autre de toute la largeur de la base *F H*. On conçoit bien aussi qu'ils le seroient plus ou moins, si j'employois un autre coin dont l'angle fût plus ou moins ouvert, comme *i m G*, ou *l n G*; mais pour transporter ainsi deux masses qui résistent, il faut de la force, & l'on est obligé d'en employer davantage quand on les transporte à une distance plus grande dans un tems déterminé.

IX. LEÇON.

Secondement, je me représente un coin qui fait effort pour écarter davantage les deux parties d'une buche entr'ouverte, *Fig. 7.* tandis qu'elles résistent à cet écartement, par la liaison des fibres qui sont encore unies au-dessous de l'angle *p*. Je conçois les

IX. LEÇON.

deux lignes fp, pq, & de l'autre part t,p, tr, comme deux léviers angulaires, dont les bras pr, pq, ſont liés enſemble par des fils également diſtans l'un de l'autre ; le coin agiſſant en t & en f, fait donc ſon effort par les deux bras tp, fp, contre le premier lien qui eſt à l'angle p, tandis que les deux autres bras s'appuyent mutuellement l'un contre l'autre au-deſſous. Si ce lien eſt inflexible, & qu'il ne puiſſe céder ſans ſe rompre, l'effort du coin produira cet effet s'il excéde un peu la force de ce fil; & s'il eſt une fois rompu, celui qui le ſuit immédiatement, quoiqu'auſſi fort, ſe rompra plus facilement par la même action du coin, parce qu'alors le lévier de la puiſſance eſt augmenté en longueur, comme on le peut voir par les deux lignes ponctuées qui répondent au ſecond lien ; & par la même raiſon, cet avantage que reçoit la puiſſance doit aller toujours en augmentant. N'eſt-ce pas pour cela que les bois durs & ſecs, les pierres, le verre, & en général toutes les matiéres dont les parties ſont fort roides, ſe caſſent par éclat,

& se fendent fort aisément dès qu'on a commencé à les entâmer ? Il n'en seroit pas tout-à-fait de même si ces liens que je suppose, étoient flexibles, parce que les premiers venant à céder un peu, laisseroient porter aux autres une partie de l'effort du coin, & la même force ne suffiroit pas pour les rompre tout-à-fait. IX. LEÇON

Que le coin agisse de l'une ou de l'autre façon, il paroît : 1°. Qu'on peut s'en servir avantageusement pour vaincre de grandes résistances : 2°. Que son action devient d'autant plus puissante, qu'il est plus aigu. L'expérience, en confirmant ces deux propositions, nous donnera lieu de déterminer le rapport des puissances qui agissent l'une contre l'autre par le moyen de cette machine.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Les deux plans *A C*, *B C*, *Fig.* 8, forment les deux faces d'un coin, qui peut devenir plus ou moins aigu, par le moyen d'une charniére qui est

IX. LEÇON.

au point *C*, & de deux écroux *E*, *F*, qui arrêtent les deux autres extrémités à la regle *G H*; pour cet effet cette derniére piéce doit être percée d'une raînure à jour dans laquelle on fait gliſſer deux tourillons à vis que l'on a ajoutés aux bouts des deux plans. *D I* eſt un chaſſis placé horizontalement ſur deux montans qui aboutiſſent à une tablette qui leur ſert de pied. Deux rouleaux *m*, *n*, tournent dans des petites chappes qui gliſſent avec beaucoup de facilité, ſur deux fils de métal tendus d'un bout à l'autre du chaſſis. On voit, par cette diſpoſition, que les rouleaux ne peuvent être écartés l'un de l'autre que par une force capable d'élever le poids *p*, & que le coin *ABC*, agiſſant contre eux par ſon propre poids, ou par celui qu'on lui ajoûte, il eſt facile de comparer l'effort de la puiſſance avec celui de la réſiſtance.

Le poids *p* étant de deux livres, on rend le coin tellement aigu, que ſon propre poids ſuffiſe pour écarter les rouleaux; enſuite on l'ouvre de maniére que ſa baſe *A B*, ſoit égale à la moitié de la hauteur *K C*.

Fig. 3.

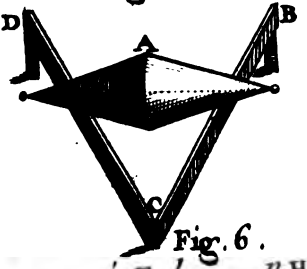


Fig. 6.

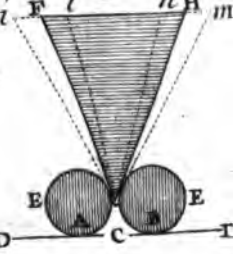


Fig. 5.

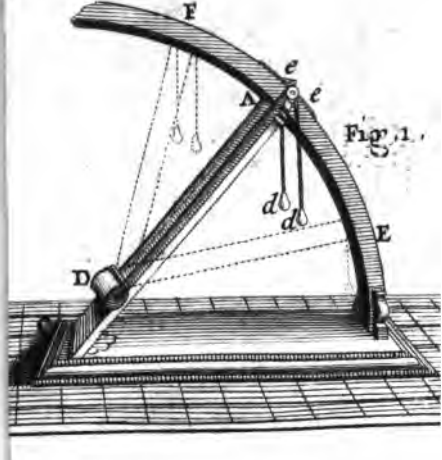


Fig. 1.

EFFETS.

1°. Lorſque le coin eſt aſſez aigu, quoiqu'il ne péſe qu'environ 12 onces, ſon effort devient ſuffiſant pour écarter les rouleaux.

2°. Lorſque ſa hauteur égale deux fois la largeur de ſa baſe ; il écarte encore les rouleaux, ſi l'on ajoûte un peu plus de 4 onces à ſon poids, c'eſt-à-dire, qu'avec un effort d'une livre il fait équilibre à une force qui eſt double.

EXPLICATIONS.

Si le poids *p* de notre expérience, étoit partagé en deux autres d'une livre chacun, comme *p*, *r*, *Fig. 9.* & que les deux rouleaux *m*, *n*, ne puſſent s'écarter l'un de l'autre ſans faire monter d'autant ces deux poids, il eſt certain que ſans l'interméde de la machine, il faudroit une maſſe égale à deux livres pour leur faire équilibre, & un peu plus pour les faire monter : or nous voyons que par le moyen d'un coin, 12 onces les enlévent ; nous voyons auſſi qu'il en faut un peu plus de 16 pour faire le même effet

IX. LEÇON.

quand le coin devient moins aigu : nos deux propositions sont donc prouvées ; il s'agit maintenant d'expliquer le fait.

La force d'un corps qui se meut, ou qui tend à se mouvoir, vient de sa masse & du dégré de vîtesse qu'il a ou qu'il auroit si le mouvement avoit lieu. Or le coin *abc* ne peut descendre de toute sa hauteur, que les rouleaux ne parcourent en même-tems les deux espaces *cl*, *ci* ; & que par conséquent les deux poids *p*, *r*, ne fassent autant de chemin en montant ; mais ces deux espaces qui égalent ensemble la base *ab*, ne sont que la moitié de la hauteur du coin, de sorte qu'un poids placé en *k* fait dans le même tems deux fois autant de chemin en descendant, que les poids *p*, *r*, en font en montant ; ainsi dans le cas de l'équilibre, le poids *k* doit être à la somme des deux autres en raison réciproque des vîtesses, c'est-à-dire, une livre contre deux, lorsque la ligne *kc* est double de la ligne *ab* ; d'où il suit cette proposition générale, *la puissance est à la résistance, dans le cas d'équilibre, comme la base du coin est à*

sa hauteur ; ce qui n'a lieu cependant à la rigueur, que quand les forces opposées peuvent être comparées à des poids, comme dans l'expérience précédente,

IX. Laço

APPLICATIONS.

Les usages du coin ne sont par bornés à fendre du bois ou des pierres; & sa forme n'est pas toujours celle d'un morceau de fer grossiérement aiguisé qu'on chasse à coups de marteaux : on peut dire en général que tous les outils tranchans, de quelque nature qu'ils soient, la coignée & la serpe du bucheron, le ciseau & la gouge du sculpteur & du menuisier, la lancette & le scapel du chirurgien, le couteau & le rasoir qui sont entre les mains de tout le monde, sont autant de coins, dont l'angle, la grandeur, la figure, la dureté sont proportionnés à la qualité des matières sur lesquelles ils doivent agir, & à l'action du moteur qui doit régler leur effort. Cette observation se présente d'elle-même, lorsqu'on fait attention que tous ces instrumens ont essentiellement deux surfaces plus ou moins in-

IX. LEÇON.

clinées l'une à l'autre, & qui forment toujours, à l'endroit de leur jonction, un angle plus ou moins aigu.

Comme c'eſt l'angle qui eſt la partie eſſentielle du coin, il n'eſt pas néceſſaire qu'il ſoit formé par le concours de deux ſeuls plans ; les cloux qui ont quatre faces qui aboutiſſent à une même pointe, les poinçons ronds, les épingles, les aiguilles, &c. dont la ſuperficie peut être regardée comme un aſſemblage de lignes qui ſe réüniſſent à un angle commun, ſont auſſi l'office de coins, & doivent être conſidérés comme tels.

Il faut remarquer que parmi les différentes ſortes de tranchans, il y en a beaucoup que l'on fait agir en les traînant ſelon leur longueur, en même tems qu'on les appuye directement contre le corps qu'on veut entâmer ; tels ſont les couteaux, les biſtouris, &c. Ces ſortes d'inſtrumens agiſſent en même tems comme des coins & comme des ſcies ; car il faut ſçavoir que le tranchant le plus fin eſt compoſé de parties qui ne ſont pas toutes exactement dans la même ligne : les unes plus hautes que les

IX. LEÇON.

autres forment autant de petites dents qu'on peut appercevoir avec le microscope, & qui ne tiennent pas contre un long usage ; c'est pourquoi l'on a soin de les réparer comme on les avoit fait naître, en frottant les faces de la lame sur une pierre à aiguiser ; (ce que l'on nomme *donner le fil* ;) tout instrument qui coupe de cette maniére n'a pas besoin qu'on l'appuye aussi fort qu'un autre ; c'est pourquoi dans les opérations de Chirurgie on préfére, autant que l'on peut, l'usage du bistouri à celui des ciseaux qui ne coupent qu'en serrant, pour éviter la contusion des parties, & pour épargner de la douleur au malade.

Mais quoiqu'un tranchant soit fait pour couper en traînant, comme les couteaux ordinaires, il ne faut point oublier qu'il peut aussi entâmer & diviser un corps contre lequel il ne seroit que pressé directement. C'est une témérité que de frapper, comme on fait quelquefois, avec la paume de la main sur le tranchant d'un rasoir ; la peau véritablement résiste un peu plus quand l'instrument n'agit sur elle que comme un coin, sur-tout s'il

IX. LEÇON.

attaque à la fois une grande étenduë; mais il eſt toujours dangereux d'eſſayer juſqu'où peut aller cette réſiſtance.

DES VIS.

La *Vis* eſt un cylindre ou un cône fort allongé ſur lequel on a creuſé une gorge qui tourne en ſpirale ; la cloiſon qui eſt réſervée entre les tours de cette gorge, s'appelle le *Filet* de la vis ; & la diſtance qu'il y a d'un filet à l'autre ſe nomme le *Pas* : on pratique auſſi ce filet & cette gorge dans une cavité cylindrique pour en faire une vis intérieure ; & quand ces deux ſortes de vis ſont tellement proportionnés que le filet de l'une peut ſe mouvoir dans la gorge de l'autre, & réciproquement, celle qui eſt creuſe prend le nom d'*Ecrou*.

En jettant ſeulement les yeux ſur les *Fig.* 10 *&* 11. on reconnoît facilement que le filet d'une vis, à ne conſidérer que l'endroit qui reçoit l'effort de la réſiſtance, n'eſt autre choſe qu'un plan incliné a la baſe du cylindre qu'il enveloppe ; & que ce plan eſt d'autant plus incliné que les

pas ſont moins grands ; ainſi lorſqu'une vis tourne dans ſon écrou, ce ſont deux plans inclinés dont l'un gliſſe ſur l'autre. La hauteur eſt déterminée pour chaque tour par la diſtance d'un filet à l'autre, & la longueur eſt donnée par cette hauteur, & par la circonférence de la vis ; car ſi l'on développe un de ces filets *a b*, avec ſon pas *b c*, on aura le triangle *a b c*; *Fig.* 10.

Quand on veut faire uſage de cette machine, on attache on l'on applique l'une des deux piéces [la vis ou l'écrou] à la réſiſtance qu'il faut vaincre, & l'autre lui ſert comme de point d'appui ; alors en tournant, on fait mouvoir l'écrou ſur la vis, ou la vis dans l'écrou, ſelon ſa longueur ; & ce qui réſiſte à ce mouvement, avance ou recule d'autant. Aux étaux des Serruriers, par exemple, une des deux mâchoires eſt pouſſée par l'action d'une vis contre l'autre ; à laquelle eſt fixé un écrou : il faut, comme on voit, que la puiſſance faſſe un tour entier pour faire avancer la réſiſtance d'un pas, c'eſt-à-dire, d'un filet à l'autre ; ainſi en la ſuppoſant

IX. LEÇON.

appliquée immédiatement à la circonférence de la vis, l'espace qu'elle parcourt, ou son degré de vîtesse, est *a c*, & celui de la résistance est *b c*; mais comme on fait ordinairement tourner les vis, & sur-tout celles qui sont grosses, avec des léviers ou avec quelque chose d'équivalent, la force motrice fait beaucoup plus de chemin que si elle menoit immédiatement la vis; ce n'est plus *a c* qui exprime sa vîtesse, c'est la circonférence d'un cercle dont le lévier *D E* est le demi-diamétre. On peut donc établir en général que dans l'usage des vis, si l'on n'a point égard aux frottemens, *la puissance est à la résistance dans le cas d'équilibre, comme la hauteur du pas* b c, *est à la circonférence que décrit l'extrêmité* E *du lévier par lequel on agit*, c'est-à-dire, *en raison réciproque des vîtesses.*

Selon la matiére dont on fait les vis, & les efforts qu'elles ont à soutenir, on donne différentes formes aux filets; le plus souvent ils sont angulaires, comme dans la *Fig.* 10. ou quarrés comme dans la *Fig.* 11. Ceux-ci se pratiquent ordinairement

IX. LEÇON.

aux groſſes vis de métal qui ſervent aux preſſes & aux étaux, parce qu'elles en ont moins de frottemens. On fait aux vis de bois des filets angulaires pour leur conſerver de la force; car par cette figure, ils ont une baſe plus large ſur le cylindre qui les porte: on donne auſſi la même forme aux filets des vis en bois, je veux dire, ces petites vis de fer qui finiſſent en pointe, & qui doivent creuſer elles-mêmes leur écrou dans le bois; on doit les conſidérer, de même que les *mêches* des vrilles & des tertières, comme des coins tournans, dont l'angle ouvre le bois d'autant mieux qu'il eſt plus aigu.

Parmi un grand nombre de machines dont la partie principale eſt une vis, il en eſt deux qui tiennent un rang diſtingué; l'une eſt cette fameuſe vis qui porte depuis près de deux mille ans le nom d'Archimédes ſon Auteur, & qui peut, dans bien des occaſions, s'appliquer fort utilement à élever les eaux; l'autre eſt *la vis ſans fin*, ainſi nommée, parce que ſon action eſt continuë du même ſens, au contraire des vis ordinaires,

IX. LEÇON.

qui se meuvent dans un écrou, & qui cessent de tourner quand elles ont avancé de toute leur longueur.

La vis d'Archimédes est composée d'un cylindre incliné à l'horison, qui tourne sur deux pivots *A*, *B*, *Fig.* 12. & d'un canal ou tuyau qui l'enveloppe en forme d'hélice. Un corps grave placé à l'embouchure *C* du canal, tombe par son propre poids en *d* : lorsqu'on fait tourner la vis, le point *d* du tuyau passe au point *e*, & le mobile que son poids retient toujours à l'endroit le plus bas, se trouve dans le canal au point *f* qui a fait un demi-tour, & qui est venu en *g*. En continuant ainsi, on lui fait parcourir toute la longueur de la vis de bas en haut ; de sorte que par le moyen de cette ingénieuse machine, un corps monte en vertu de la même force qui le fait descendre. Si la partie inférieure de cette vis est plongée dans l'eau, on conçoit facilement que ce canal doit s'emplir à mesure qu'il tourne, & procurer un écoulement par la partie d'en haut.

Comme cette machine se meut sur deux pivots, une force peu consid-

rable peut la faire tourner, pourvû qu'elle ſoit bien en équilibre avec elle-même ; mais on ne peut guères s'en ſervir que pour élever l'eau à une hauteur médiocre, comme lorſqu'il s'agit de deſſécher un terrain ; parce que cette vis étant néceſſairement inclinée, ne peut porter l'eau à une grande élévation, ſans devenir elle-même fort longue, & par-là très-peſante, & ſans courir les riſques de ſe courber & de perdre ſon équilibre. IX. LEÇON.

Ce que l'on nomme ordinairement *Vis ſans fin*, eſt une machine compoſée d'une vis dont le cylindre ou noyau tourne toujours du même ſens ſur des pivots qui terminent ſes deux extrémités ; les filets de cette vis, qui ſont le plus ſouvent quarrés, menent en tournant une rouë verticale dont ils engrennent les dents. Cette rouë porte à ſon centre un rouleau avec une corde à laquelle on attache le fardeau qu'on veut élever, de la même maniére qu'au treuil. *Voyez la Figure* 13.

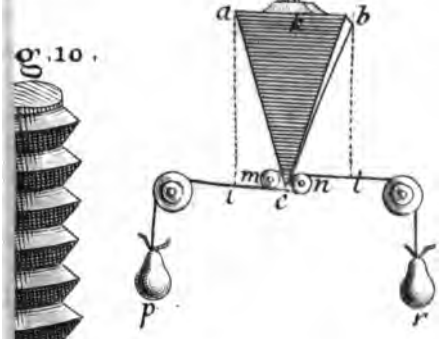
Par le moyen de cette machine, on peut vaincre avec très-peu de force une très-grande réſiſtance : mais cet

IX. LEÇON.

avantage coûte bien du tems ; car il faut que la vis faſſe un tour entier pour faire paſſer une dent de la roue & il faut que toutes les dents paſſent pour faire tourner une fois le rouleau de ſorte que ſi le nombre des dents eſt 100, & que le diamétre du rouleau ſoit de 4 pouces, pour élever la réſiſtance *P* à la hauteur d'un pied, il faut que la puiſſance *F* faſſe tourner 100 fois la manivelle ; mais il y a bien des occaſions où cette lenteur eſt le principal objet qu'on ſe propoſe, comme lorſqu'il s'agit de modérer le mouvement d'un roüage, ou bien de faire avancer ou reculer un corps d'une très-petite quantité qu'il importe de connoître.

Dans cette ſection, comme dans la précédente, j'ai toujours fait abſtraction des frottemens, pour n'avoir égard qu'aux effets qui naiſſent de chaque machine conſidérée en elle-même : il eſt bon d'avertir cependant que dans l'uſage des vis & du coin, il arrive ſouvent que l'effet principal vient des frottemens, & que ſi dans la pratique on négligeoit d'avoir égard à cette eſpêce de réſiſtance, il

Fig. 9.



g. 10.

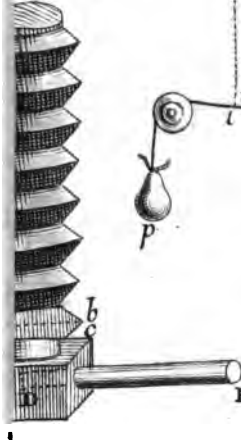
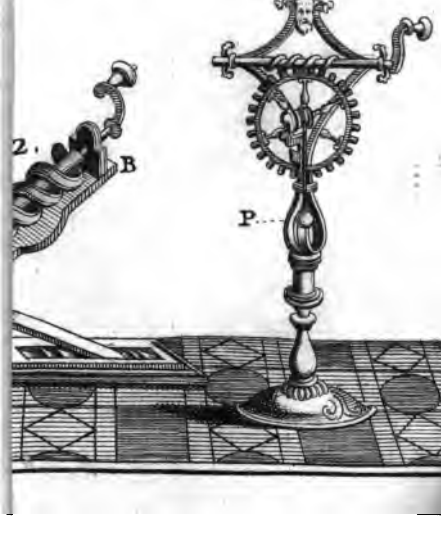


Fig. 13.



y auroit bien peu de cas où les forces opposées pussent se comparer avec quelque justesse ; deux exemples justifieront cette remarque. Lorsqu'avec un effort équivalent à cent livres on a chassé un coin entre les deux parties d'une buche entr'ouverte, la réaction ou le ressort du bois qui s'oppose à l'effort de la puissance, subsiste toujours quoiqu'on cesse d'agir contre ; pourquoi donc le coin ne revient-il point de lui-même : quand il n'est point fort obtus ? c'est qu'il oppose alors à la pression du bois qui le sollicite à reculer, le frottement de sa surface qui égale ou qui surpasse même la force qui la fait entrer. Quand on a serré les deux mâchoires d'un étau avec la vis, au moment que l'on cesse de la faire tourner, la résistance est en équilibre avec la puissance : sans le frottement de la vis dans son écrou, la moindre force devroit écarter les mâchoires qui ont été serrées, cependant les plus grands efforts ne le font pas, & c'est en quoi consiste le principal avantage de cet outil.

IX. LEÇON.

III. SECTION.

Des Cordes.

LEs cordes ſont des corps longs & flexibles, quelquefois ſimples, mais le plus ſouvent compoſés de pluſieurs fibres ou fils de matière animale, végétale ou minérale. Les chaînes mêmes, par rapport à l'emploi qu'on en fait dans les machines, doivent être conſidérées comme des cordes : car quoique leur ſtructure ſoit tout-à-fait différente, elles ont les qualités eſſentielles des cordes, la longueur & la flexibilité qui les rendent propres aux mêmes uſages.

En méchanique on employe communément les cordes : 1°. pour changer la direction du mouvement, comme lorſqu'avec une poulie on fait monter un poids par l'effort d'un autre qui deſcend : 2°. pour tranſporter la puiſſance ou la réſiſtance dans un lieu plus avantageux ou plus commode ; c'eſt par le moyen d'une corde, par exemple, qu'un cheval placé ſur le rivage tire un bateau qu'il ne pourroit preſque jamais faire mouvoir

autrement : 3°. pour lier, ſerrer, arrêter d'une maniére ſimple & facile toutes ſortes de mobiles qui tendent d'eux-mêmes à ſe déſunir, ou qu'une force extérieure ſollicite à s'écarter ou à ſe déplacer.

IX. LEÇON.

Les cordes par elles-mêmes ne peuvent ni augmenter ni diminuer l'intenſité des forces qui agiſſent contr'elles, ou contre leſquelles on les fait agir ; que la corde avec laquelle on ſonne une cloche ait 15 braſſes, ou qu'elle n'en ait qu'une ou deux, le ſonneur n'en a ni plus ni moins d'effort à faire ; la force d'un cheval eſt la même lorſqu'il tire avec un gros ou avec un petit trait : mais parce qu'une corde eſt plus groſſe ou plus longue, elle eſt plus peſante ; elle ſe courbe, lorſqu'elle n'agit pas dans une direction verticale, & elle eſt moins flexible ; or le poids, la courbure & la roideur des cordes ſont des réſiſtances ou des déſavantages qui exigent un plus grand effort de la part de la puiſſance, & ſur leſquels il eſt néceſſaire de compter dans la pratique.

En parlant des puits où l'on tire l'eau par le moyen de deux ſeaux qui

IX. LEÇON.

montent & descendent alternativement, nous avons déja observé que la corde, dans les tems où elle est plus longue d'un côté que de l'autre, augmente la charge, & que cette augmentation devient considérable, lorsque la profondeur du puits ou du souterrain est grande; on peut dire la même chose des fardeaux que l'on traîne, les cordes ou les chaînes dont on se sert augmentent de leur propre poids la charge sur laquelle on agit.

La résistance qui vient de la pésanteur des cordes croît comme leur solidité ou quantité de matière; en les considérant comme des cylindres on doit donc, à longueurs égales, estimer la différence de leur poids par le quarré du diamétre. Si, par exemple, à la place d'une corde qui pése 30 livres, ayant un pouce de diamétre, on en met une autre de même longueur & de même nature qui soit deux fois aussi grosse, celle-ci pésera 120 livres, c'est-à-dire, quatre fois autant que la premiére, parce que son diamétre est double.

Non-seulement le poids de la corde augmente la somme des résistan-

ces dans l'usage des machines, mais il arrive encore assez souvent qu'en la faisant courber, il fait prendre à la puissance une direction moins avantageuse que celle qu'elle auroit si la corde se tenoit parfaitement droite. Lorsqu'on tire un fardeau sur un plan incliné, nous avons fait voir que l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsqu'il est dirigé parallélement au plan, comme *AB*, *Fig.* 1. Mais il y a bien des occasions où la corde, devenant courbe comme *AEB*, à cause de sa longueur & de son poids, incline l'action de la puissance au plan, & l'affoiblit d'autant. IX. LEÇON.

La longueur seule de la corde, indépendamment du poids, peut apporter quelque changement à la direction de la puissance. Car si elle fait un angle avec le terrain, eû égard à l'élévation de la puissance, elle le fait d'autant plus grand qu'elle est moins longue; quoique les deux lignes *AC*, *AD*, * ne soient ni l'une ni l'autre paralléles au plan *FG*; cependant la premiére s'écarte davantage du parallélisme que la derniére: ainsi toutes les fois qu'une force mo- * *Fig.* 5.

IX. LEÇON.

trice sera appliquée à une résistance, par le moyen d'une corde ou d'une chaîne, il ne faut point avoir égard à sa direction, ou à sa tendance naturelle, mais à celle qui est indiquée par la chaîne ou par la corde qui transmet son effort.

La roideur des cordes, lorsqu'elles ont part au mouvement des machines, est ce qu'il y a de plus important à connoître : elle dépend principalement du poids ou de la force qui tend les cordes, de leur grosseur, de la quantité dont on les courbe, & de la vîtesse avec laquelle on les fait plier. M. Amontons * est le premier qui ait traité méthodiquement cette partie des méchaniques, dont on n'avoit avant lui qu'une idée confuse. Il en a montré l'importance, en faisant connoître que dans les cas les plus ordinaires la roideur seule des cordes peut augmenter d'un tiers la résistance, sur laquelle on doit faire agir la force motrice ; & il nous apprend d'après l'expérience : 1°. Que la résistance causée par la roideur des cordes, augmente en raison directe des poids ou des forces

* *Mem. de l'Acad. des Scienc. 1699. pag. 217.*

qui les tiennent tenduës : 2°. Que cette même résistance augmente encore comme le diamétre des cordes, toutes choses égales d'ailleurs : 3°. Que les cordes se plient plus difficilement à mesure que les cylindres ou les poulies sur lesquels on les fait tourner, deviennent plus petits, quoique cette dernière résistance n'augmente pas autant que les diamétres décroissent.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

On attache au plancher d'une chambre, ou à quelqu'autre appui solide deux cordes semblables, *A*, *B*, *Fig.* 2. qui pendent parallélement à 5 ou 6 pouces de distance l'une de l'autre, & qui soutiennent une tablette *C D*, sur laquelle on pose des poids.

Ces deux cordes font dans le même sens chacune un tour sur un cylindre *EF*, & au milieu on enveloppe en sens contraire un ruban ou un fil au bout duquel on attache un bassin de balance que l'on charge jusqu'à ce qu'il commence à faire rouler le cylindre de haut en bas ; comme on le peut

IX. LEÇON.

voir par la *Fig.* 3. On employe dans ces expériences plusieurs paires de cordes, qui sont toutes de même matiére, & dont les diamétres sont différens, & faciles à comparer ; le cylindre doit toujours être du même poids, quoiqu'on varie sa grosseur ; & afin que le ruban ou fil qui pend en *f*, soit toujours à la même distance du point *e* *, on diminuë le cylindre en son milieu ; ou bien en évaluant l'effort du poids qui est suspendu au ruban ou fil, on tient compte de la distance du point *f* au point *e*, si elle est augmentée.

* *Fig.* 3.

Dans cette premiére expérience, le diamétre des cordes est de trois lignes, celui du cylindre, d'un $\frac{1}{2}$ pouce, & l'on charge d'abord la tablette *CD* de 20 liv. & ensuite de 40 liv.

EFFETS.

1°. Lorsque les cordes sont tenduës par un poids de vingt livres, il faut que le poids *G* soit de 45 onces, pour commencer à faire descendre le cylindre : 2°. Lorsque l'on tend les cordes avec un poids de 40 liv. le cylindre n'obéit qu'à l'effort de 90 onces.

EXPLICATIONS

EXPLICATIONS.

IX. LEÇON.

Le cylindre par son propre poids, ou par celui qui agit en *f*, tend à descendre : si quelque chose le retient, ce ne peut être que la corde qui l'enveloppe de part & d'autre ; car sans cet obstacle, on conçoit bien qu'il tomberoit : mais cet obstacle n'en feroit point un, si la corde avoit une flexibilité parfaite ; si elle se plioit sans aucune difficulté ; car alors toutes ses parties s'envelopperoient successivement sur le cylindre, & le laisseroient librement passer de l'endroit le plus haut à l'endroit le plus bas ; toute la résistance qui céde premiérement à 45 onces, vient donc de la roideur des cordes qui sont tenduës par le poids *C D* ; & puisque cette roideur ne peut être vaincuë que par 90 onces, quand le poids qui la fait naître, augmente de 20 à 40, c'est une preuve qu'elle croît, comme nous l'avons dit, en raison directe des forces qui tendent les cordes ; car 45 sont à 90, comme 20 sont à 40.

IX. LEÇON.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On employe d'abord une paire de cordes, dont le diamètre est de deux lignes ; elles sont tenuës par un poids de 20 livres, & elles enveloppent un cylindre qui a un demi-pouce de diamétre.

Ensuite on fait servir une autre paire de cordes une fois plus menuës que les précédentes, à qui l'on donne le même dégré de tension, & que l'on fait tourner sur le même cylindre.

EFFETS.

Dans le premier cas il faut 30 onces pour vaincre la roideur des cordes ; dans le second il n'en faut que 15.

EXPLICATIONS.

Quand la corde se courbe, son diamétre perpendiculaire à la surface du cylindre qu'elle enveloppe, doit être considéré comme un lévier qui a son point d'appui au cylindre même ;

plus ce diamètre est grand, plus la puissance ou le poids qui tend la corde, est éloigné de ce point d'appui & par conséquent plus il résiste au poids du cylindre, ou à celui qu'il soûtient en *g*. * On bien l'on peut considérer le diamètre de la corde & celui du cylindre, comme ne faisant qu'un même lévier, dont le centre du mouvement est en *e*; on voit facilement que si le bras *e f* restant le même, *e b* devient plus long, la puissance qui agit en *L* en aura d'autant plus de force pour vaincre celle qui pése en *g*. En considérant ainsi la roideur qui vient de la grosseur des cordes, on voit tout d'un coup pourquoi lorsqu'on double leur diamètre, il faut aussi doubler le poids qui tend à faire descendre le cylindre. On voit de même pourquoi cette espéce de résistance ne croît pas en raison de la solidité des cordes, comme on le pourroit croire, mais seulement en raison des diamétres, comme nous l'avons établi dans notre proposition.

IX. LEÇON.

* Fig. 3.

IX. LEÇON.

III. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

Les cordes étant de trois lignes de diamétre, & tenduës par un poids de 60 livres, on employe d'abord un cylindre d'un pouce, & enſuite un autre d'un $\frac{1}{2}$ pouce de diamétre.

EFFETS.

Le roideur des cordes avec le premier cylindre céde à 135 onces, & avec le ſecond à 114.

EXPLICATIONS.

Les cordes & les poids qui les tiennent tenduës, reſtant les mêmes, leur roideur ne peut varier que par le diamétre du cylindre qu'elles enveloppent. Quand ce cylindre eſt plus petit, la corde eſt obligée de ſe courber davantage; or puiſque cette courbure en général eſt un obſtacle à la deſcente du cylindre, comme nous l'avons fait voir par la premiére expérience, une plus grande courbure doit augmenter la réſiſtance. On pourroit être tenté de croire, que le diamétre du cylindre une fois plus

petit, devroit rendre la même corde une fois plus roide; mais l'expérience fait voir que ce rapport n'a pas lieu; car 135 onces, à beaucoup près, n'égalent pas deux fois 114, comme le cylindre employé dans le second cas égale deux fois celui du premier, par la grandeur de son diamétre.

APPLICATIONS.

Ce que nous avons prouvé par les expériences précédentes doit servir de régle dans l'usage des poulies, des treuils, des cabestans, &c. toutes ces machines ne peuvent s'employer qu'avec des cordes, ou pour parler plus exactement, les cordes en sont une partie essentielle; si l'on négligeoit de compter sur leur roideur, on tomberoit infailliblement dans des erreurs considérables, & le mécompte se trouveroit principalement dans les cas où il est le plus important de ne se point tromper, je veux dire dans les grands effets; car alors les cordes sont nécessairement grosses & fort tenduës.

On doit donc avoir soin, 1°. de préférer les grandes poulies aux petites, si la place le permet, non seule-

IX. LEÇON.

ment parce qu'ayant moins de tours à faire, leur axe a moins de frottement mais encore parce que les cordes qui les entourent, & qu'elles font mouvoir, y souffrent une moindre courbure, & leur opposent par conséquent moins de résistance; cette considération est d'une si grande conséquence dans la pratique, qu'en évaluant la roideur de la corde, selon la règle de M. Amontons, * on voit clairement que si l'on vouloit enlever un fardeau de 800 livres avec une corde de 20 lignes de diamétre, & une poulie qui n'eût que trois pouces, il faudroit augmenter la puissance de 212 livres pour vaincre la roideur de la corde; au lieu qu'avec une poulie d'un pied de diamétre, cette espéce de résistance céderoit à un effort de 22 liv. toutes choses égales d'ailleurs.

* *Mém. de l'Acad. des Sciences 1699. pag. 227.*

On peut juger de là que les poulies mouflées ne peuvent jamais avoir tout l'effet qui devroit résulter du nombre & de la disposition des léviers qu'elles représentent; car dans ces sortes de machines les cordes ont plusieurs retours, & quoique les puissances qui les tendent, chargent

d'autant moins les axes, que les poulies sont plus nombreuses ; cependant, parce qu'il n'y a point de corde dont la flexibilité soit parfaite, en multipliant les courbures, on augmente nécessairement la résistance qui vient de leur roideur. IX. Leçon.

Cet inconvénient qui est commun à toutes les mouffles, est encore plus considérable dans celles où les poulies rangées les unes au-dessus des autres, doivent être de plus en plus petites, pour donner lieu à la corde de se mouvoir sans se toucher & se frotter. Car nous avons fait voir par la troisième expérience, que la corde a plus de peine à se plier, quand elle enveloppe un cylindre d'un plus petit diamètre : les poulies mouffles qui sont toutes de même grandeur, sont donc préférables dans les cas où la raison que nous venons d'exposer, n'est point combattue par d'autres plus fortes.

Les personnes qui sont dans l'habitude de tourner, soit au pied, soit à l'archet, sçavent par leur propre expérience combien il est nécessaire de proportionner la grosseur de la

IX. LEÇON.

corde à celle de la piéce qu'on fait tourner ; si l'on n'a point cette attention, on ne peut jamais exécuter aucun ouvrage délicat entre deux pointes, parce que l'effort qu'il faut faire pour vaincre la roideur de la corde, porte sur la piéce qu'on fait tourner ; cette piéce ne peut le soûtenir qu'autant qu'elle est forte de matiére : & rien ne marque mieux combien une corde trop grosse a de peine à se mouvoir, que le peu de tems qu'elle met à s'échauffer & à s'user, quand elle enveloppe une partie fort menuë.

Les cordes que l'on employe dans les machines, destinées à faire de grands efforts, doivent être durables, parce qu'elles ne se font & ne se réparent qu'à grands fraix : elles doivent être capables aussi d'une grande résistance, sans quoi elles deviendroient inutiles, ou elles occasionneroient des accidens fâcheux. Mais ces deux qualités sont difficiles à concilier avec une grande flexibilité, parce qu'elles ne peuvent guéres s'acquérir que par une grosseur condérable, & par quelque préparation qui donne nécessairement de la roi-

deur. Les cables qu'on employe dans les bâtimens, & mieux encore ceux qui servent dans la navigation, seroient d'un usage bien plus avantageux & plus commode, si l'on pouvoit trouver quelque moyen de les rendre plus légers & plus fléxibles, sans leur ôter la force qui leur est nécessaire, & sans les rendre moins durables; le choix des matiéres, la façon de les préparer & de les mettre en œuvre, doivent sans doute contribuer beaucoup à cet effet; mais une attention qu'on néglige un peu trop, & qu'on devroit avoir cependant, c'est de proportionner les cordes aux efforts qu'elles ont à soûtenir; de les choisir assez fortes pour ne point manquer, mais de ne rien faire de superflu à cet égard, parce que cette force surabondante ne va point ordinairement sans une augmentation de poids, de roideur, & de fraix qu'il est toujours utile d'épargner. IX. LEÇON.

La fabrique des cordes a été presque entiérement abandonnée jusqu'ici à des ouvriers peu intelligens pour la plûpart, qui n'y travaillent que par routine, & qui se contentent de ré-

IX. LEÇON.

péter servilement ce que d'autres ont fait avant eux; cet objet cependant est d'une assez grande importance, pour mériter l'attention des sçavans, & l'on ne peut être que très-satisfait de voir qu'il occupe quelques-uns de ceux qui consument leur tems à des spéculations sublimes, assez souvent inutiles, pour le donner à des choses qui tendent plus directement au bien-être de la société. M. Duhamel du Monceau, pour remplir une partie des vûës que les devoirs de sa place * lui ont fait naître, vient de nous donner un ouvrage qui contient l'art de la Corderie, fondé sur un grand nombre d'expériences qu'on lui a vû faire dans nos Ports. Ce n'est pas seulement une histoire ou une description de ce qu'on a coûtume de pratiquer dans les ateliers où l'on fabrique des cordes, mais un recueil d'instructions nouvelles & utiles qui pourront procurer à cet Art la perfection dont il a besoin.

* *Inspecteur général de la Marine.*

APRÈS avoir parlé de la roideur des cordes, & de la maniére dont on peut estimer la résistance qui en ré-

IX. LEÇON.

ſulte dans les machines, il nous reſte à dire quelque choſe de leur force, & des changemens dont elles ſont ſuſceptibles, lorſqu'elles deviennent alternativement ſèches & humides.

Les cordes qui ſont le plus en uſage dans la méchanique, celles dont il s'agit principalement ici, ſont des aſſemblages de fibres que l'on tire des végétaux comme le chanvre, ou du reigne animal, comme la ſoye ou certains boyaux que l'on met en état d'être filés. Si ces fibres étoient aſſez longues par elles-mêmes, peut-être ſe contenteroit-on de les mettre enſemble, de les lier en forme de faiſceaux ſous une enveloppe commune; cette maniere de compoſer les cordes, eût peut-être paru la plus ſimple, & la plus propre à leur conſerver cette qualité qui eſt la plus néceſſaire, la fléxibilité: mais comme toutes ces matiéres n'ont qu'une longueur fort limitée, on a trouvé le moyen de les prolonger en les filant, c'eſt-à-dire, en les tortillant enſemble de maniére que les unes s'uniſſant en partie aux autres, ſont embraſſées & retenuës de même par cel-

IX. LEÇON.

les qui ſuivent ; le frottement qui naît de cette ſorte d'union eſt ſi conſidérable, qu'elles ſe caſſent plûtôt que de gliſſer l'une ſur l'autre ſelon leur longueur : c'eſt ainſi que ſe forment les premiers fils dont l'aſſemblage fait un cordon, & de pluſieurs de ces cordons réünis & tortillés enſemble on compoſe les plus groſſes cordes.

On juge aiſément que la qualité des matiéres contribuë beaucoup à la force des cordes ; on conçoit bien auſſi qu'un plus grand nombre de cordons également gros doit faire une corde plus difficile à rompre ; comme une plus grande quantité de fils forme un cordon d'une plus grande réſiſtance : mais quelle eſt la maniére la plus avantageuſe d'unir les fils ou les cordons ? le tortillement par lequel on a coûtume de lier ces aſſemblages, donne-t'il plus de force aux cordes qu'elles n'en auroient, ſi les parties qui les compoſent étoient ſeulement réünies en forme de faiſceaux ? c'eſt ce qui ne s'apperçoit pas auſſi facilement ; ſi l'on en croyoit le préjugé, il ſemble qu'on décideroit en faveur du tortillement, parce

que cette façon fait naître une union plus intime entre les parties composantes, & que la force du composé semble dépendre de cette union. IX. LEÇON.

Il y a même des raisons spécieuses qui ont porté plusieurs Sçavans à juger comme le vulgaire à cet égard : on sçait en général que la force d'un corps dépend de sa solidité, de sa grosseur : le tortillement rend une corde plus grosse qu'elle ne le seroit, si ses fils ou cordons n'étoient qu'assemblés à côté l'un de l'autre ; car c'est un fait certain, qu'en tortillant ensemble 5 ou 6 fils on rend cet assemblage plus court & plus gros ; il semble donc que cette grosseur acquise aux dépens de la longueur, devroit faire un corps plus difficile à rompre.

D'ailleurs le tortillement fait prendre aux fils une direction qui est oblique à la longueur de la corde qu'ils composent, & comme l'effort d'une corde se fait sur sa longueur, il s'ensuit que la force qui la tient tenduë, n'agit qu'obliquement sur les fils, & que par conséquent ils en sont plus en état de résister ; car une action

IX. LEÇON.

oblique a moins d'effet qu'un effort qui se fait directement.

Malgré ces vraisemblances, l'expérience a décidé que cette façon que l'on donne aux cordes, commode & avantageuse à d'autres égards, les affoiblit plûtôt qu'elle n'augmente leur force. C'est ce qui paroît d'une maniére bien décisive, par un mémoire fort curieux de M. de Reaumur, * où cette matiére paroît avoir été traitée pour la premiere fois, & d'où j'ai tiré les preuves que je vais rapporter.

* *Mém. de l'Académie des Scienc. 1611. p. 6.*

IV. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

On choisit un écheveau de fil à coudre, le plus égal qu'il est possible, on le divise en plusieurs bouts dont on éprouve la force en y suspendant des poids connus jusqu'à ce qu'ils rompent. Lorsqu'on est assuré de ce qu'ils peuvent porter séparément sans se casser on en tortille ensemble 2, 3, ou 4, &c. pour en faire une petite corde à laquelle on suspend pareillement des poids, pour

sçavoir combien elle est en état d'en soûtenir. Voyez la *Fig.* 4. IX. LEÇON.

EFFETS.

Les fils tortillés, en quelque nombre que ce soit, ne portent jamais un poids qui égale la somme de ceux qu'ils porteroient séparément.

EXPLICATIONS.

Si le fil de notre expérience, employé simple, a une force équivalente à 6 livres, deux de ces fils *C*, *D*, porteront sans doute la somme de 12 livres, mais il faut pour cet effet, que l'effort soit partagé également à l'un & à l'autre, que chacun des deux n'ait à porter que la moitié de la somme totale, c'est-à-dire, 6 livres.

Pour faire mieux sentir la nécessité de cette condition, imaginons que les deux poids de 6 livres *E*, *F*, * soient joints ensemble, & de maniére que de cette somme de 12 livres, les deux tiers portent sur le fil *C*, & l'autre tiers sur *D*: le premier de ces fils cassera d'abord, parce que, suivant notre supposition, il

* *Fig.* 4.

IX. LEÇON.

ne peut porter que 6 livres, & non pas 8. Mais aussi-tôt qu'il sera rompu par cet effort excessif, l'autre se rompra aussi; parce qu'il se trouvera chargé seul de tout le poids, dont il ne pourroit porter que la moitié. Ainsi, quoique chacun de ces fils puisse résister à un effort de 6 livres, l'un & l'autre ensemble ne peuvent soûtenir 12 livres, à moins qu'ils ne soient également chargés. Mais lorsque les deux fils sont tortillés ensemble, il arrive infailliblement que l'un des deux l'est plus que l'autre, & que l'effort du poids est inégalement partagé entr'eux; de-là il arrive qu'ils ne peuvent jamais soûtenir ensemble les 12 livres qu'ils auroient porté séparément.

Une autre raison de cet effet, c'est qu'en tortillant ainsi les fils, on les tend; & cette tension tient lieu d'une partie de l'effort qu'ils peuvent soûtenir. Ils ne sont donc plus en état de résister autant qu'ils auroient pû faire avant que d'être tortillés.

APPLICATIONS.

Les cables & autres gros cordages

ges qu'on employe, soit sur les vaisseaux, soit dans les bâtimens étant toujours composés de plusieurs cordons, & ceux-ci d'une certaine quantité de fils unis ensemble, comme ceux de notre derniére expérience; il est évident qu'on n'en doit point attendre toute la résistance dont ils seroient capables, s'ils ne perdoient rien de leur force par le tortillement; & cette considération est d'autant plus importante, que de cette résistance dépend souvent la vie d'un grand nombre d'hommes.

IX. Leçon.

Mais si le tortillement des fils en général rend les cordes plus foibles, comme nous l'avons fait voir, on les affoiblit d'autant plus, qu'on les tord davantage; & c'est une attention qu'on doit faire valoir, sur-tout dans les fabriques établies pour le service de la marine, de ne tordre qu'autant qu'il est nécessaire pour lier les parties par un frottement suffisant. Il seroit bien à souhaiter qu'on eût sur cela une regle à prescrire aux ouvriers, & qu'on pût compter sur leur docilité, & sur leurs soins pour l'observer.

IX. LEÇON.

Lorsqu'on a quelque grand effort à faire avec plusieurs cordes en même tems, ce qui empêche assez souvent de réussir, c'est qu'on ne les fait point tirer également; & alors elles cassent les unes après les autres, par les raisons que nous avons dites ci-dessus, & mettent en risque ceux qui les ont employées. Le tirage égal des cordes qui concourent à un même effort, n'est pas toujours aussi facile qu'il est nécessaire à obtenir; c'est un de ces cas assez ordinaires en méchanique, où le succès dépend presque autant de l'adresse & de l'intelligence de celui qui opére, que des forces qu'il fait agir.

QUANT aux changemens qui peuvent arriver aux cordes, par la sécheresse ou par l'humidité; ils dépendent principalement de la matière & de la façon dont elles sont faites: je ne m'arrêterai ici qu'aux plus remarquables, & à ceux qui sont de quelque importance dans l'usage des machines.

Toutes les cordes qui sont composées de plusieurs fibres, filets ou cordons que l'on a tortillés ensem-

ble, se gonflent & deviennent plus grosses lorsque l'eau les pénétre; & au contraire à mesure qu'elles se sèchent, elles diminuënt un peu de grosseur; mais en devenant plus grosses, elles perdent une partie de leur longueur, & elles se détordent un peu; ce sont deux faits connus depuis long-tems, & que j'ai souvent constatés par l'expérience suivante.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

J'attache au plancher, ou à quelqu'autre endroit fixe, des cordes de chanvre, de boyaux, &c. aux bouts desquelles je suspens des poids *H*, *K Fig.* 5. assez forts seulement pour les tenir tenduës, & qui finissent en pointe au-dessus & fort près de la tablette *I L*; au bout de chacune des cordes, immédiatement au-dessus du poids, je place un petit index de carton, *g*, ou *b*, qui fait un angle droit avec la corde que je mouille ensuite d'un bout à l'autre, par le moyen d'une éponge, ou autrement.

IX. LEÇON.

EFFETS.

On remarque 1 ment, que les cordes s'accourciſſent, parce que les poids qui les tiennent tenduës, s'élevent un peu au-deſſus de la tablette: 2 ment, qu'elles ſe tordent, par le mouvement de l'index qui tourne peu-à-peu de droite à gauche.

EXPLICATIONS.

L'eau s'introduit dans une corde, comme elle entre dans tous les corps poreux; elle en écarte les parties, & par cette raiſon la corde mouillée devient plus groſſe. Mais les parties d'une corde ſont des fibres qui ſe croiſent un grand nombre de fois par le tortillement, & qui ne peuvent s'écarter l'une de l'autre, ſans former un ventre, & ſans que les extrémités ſe rapprochent; de-là vient le raccourciſſement de toute la corde. Les particules d'eau qui ouvrent les petits interſtices qui ſont entre les fibres, dilatent auſſi ceux qui ſe trouvent entre les cordons, & cette dilatation fait que la corde devient un peu moins torſe.

IX. LEÇON.

Ce qu'il y a de plus remarquable, c'eſt que ces effets ont lieu, nonobſtant les poids qui tiennent les cordes tenduës, & ces poids peuvent être aſſez conſidérables ; c'eſt un des exemples qu'on peut citer pour faire voir que de très-petites forces multipliées, ſont capables de produire de grands efforts. Une expérience qui eſt aſſez curieuſe par elle-même, & que je vais rapporter, apprendra comment un fluide qui s'introduit dans une corde, peut la rendre plus courte en la groſſiſſant, quoiqu'une puiſſance conſidérable s'oppoſe à cet effet.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A, *B*, *C*, *Fig. 6.* ſont des veſſies qui communiquent enſemble par des petits bouts de tuyaux qui ſervent à les joindre. *D* eſt un poids de 30 livres, qui repoſe ſur le pied de la machine, quand les veſſies ſont vuides.

EFFETS.

Quand on ſouffle de l'air dans les veſſies par le tuyau qu'on voit en *E*

elles s'enflent, & le poids s'éleve de plusieurs pouces.

IX. LEÇON.

EXPLICATIONS.

L'air qui s'introduit dans les vessies les dilate ; mais les parois *AA*, *BB*, *CC*, ne peuvent s'écarter l'une de l'autre que les extrémités de chaque vessie ne se rapprochent, & que tout l'assemblage par conséquent ne devienne plus court, & n'oblige le poids à s'élever.

* *Fig. 6.* Pour concevoir comment on peut élever par un simple souffle un poids aussi considérable, il faut faire attention que tout son effort se partage également à toute la surface des vessies ; l'orifice du canal *Ee*, n'occupe qu'une très-petite partie de cette surface ; s'il n'en occupe qu'un $\frac{1}{1000}$, par exemple, la résistance qui s'oppose à son embouchure, & qu'il faut vaincre pour introduire l'air en soufflant, n'est donc que la $\frac{1}{1000}$ partie de 30 livres.

Les côtés *b Ab*, *c Ac* * d'une de ces vessies représentent assez bien les fibres qui composent les cordes ; comme l'air dilate les unes, l'humidité enfle les autres, & leur fait faire des grands efforts.

IX. LEÇON.

Ce qui arrive aux cordes que l'on mouille, ſe fait de même à l'égard des fils tords qu'on doit conſidérer comme des petites cordes, ſoit qu'on les employe ſimples, ſoit qu'on en forme des tiſſus. C'eſt pourquoi les toiles neuves ſe raccourciſſent au premier blanchiſſage; & généralement on voit toutes les étoffes ſe retirer lorſqu'on les mouille: celles qui ſont fabriquées avec deux ſortes de fils placés en différens ſens, ſe retirent inégalement, & font prendre une mauvaiſe forme aux ouvrages auſquels on les fait ſervir. Les bas & les gands tricotés ne ſe mettent & ne peuvent s'ôter qu'avec peine lorſqu'ils ſont humides; cette difficulté ne vient que du rétréciſſement cauſé par les particules d'eau qui ont gonflé les fils; ſans cela, l'interpoſition d'un fluide ne ſerviroit qu'à les faire gliſſer plus aiſément ſur la peau.

Le moyen de raccourcir les cordes en les mouillant, pourroit être d'un grand ſecours en certains cas: on dit (& c'eſt une tradition aſſez reçuë,) qu'en élevant un obéliſque à

IX. LEÇON.

Rome sous le Pontificat de Sixte V. l'entrepreneur se trouvant embarrassé, parce que les cordes étoient un peu trop longues, quelqu'un cria : *Mouillez les cordes* ; & que cet expédient ayant été tenté, réussit parfaitement. Pour vérifier ce fait, j'ai eu la curiosité de parcourir quelques ouvrages où l'on voit avec un grand détail, tout ce que Dominique Fontana fit par les ordres du Pape, depuis 1586. jusqu'à la fin de 1588. pour relever quatre anciens obéliſques qui étoient enſevelis ſous de ruines ; ſçavoir, celui du Vatican, qui fut placé devant l'Egliſe de ſaint Pierre ; un autre qui avoit ſervi au mauſolée d'Auguſte, & qui fut placé devant l'Egliſe de S. Roch ; deux autres enfin qui étoient du grand cirque, & dont l'un eſt aujourd'hui devant ſaint Jean de Latran, & l'autre devant ſainte Marie du Peuple ; dans toutes mes recherches, je n'ai pas vû un mot des cordes mouillées : je ne crois pas cependant que cette anecdote eût été obmiſe dans ces deſcriptions, qui ſont à tous égards très-circonſtanciées ; je croirois donc volontiers que le fait eſt apocriphe ;

apocryphe ; mais sa possibilité n'est contestée de personne, & on la peut conclure des expériences que nous avons rapportées ci-dessus. IX. LEÇON.

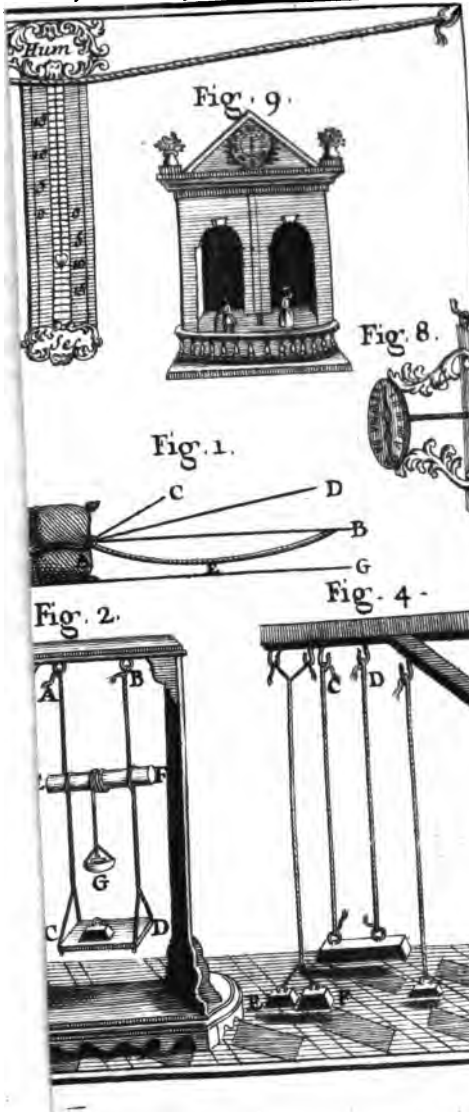
Il est à propos d'observer ici que les cordes moüillées ne peuvent vaincre de grandes résistances en se raccourcissant, qu'autant qu'elles sont faites de matiéres peu susceptibles d'allongement par elles-mêmes, telles que sont les fibres des végétaux ou la soïe : si l'on moüille des cordes de boyaux, quoiqu'elles tendent à se raccourcir par les raisons que nous avons dites, cependant on les allongeroit infailliblement en les tirant avec une certaine force, parce que les fibres qui les composent sont extensibles en toutes sortes de sens, & elles le sont d'autant plus alors, que l'humidité en les pénetrant, augmente leur soupleſſe.

Comme l'humidité & la sécheresse ont des effets sensibles sur les cordes, on a tâché d'en profiter pour connoître l'état de l'atmosphére à cet égard ; ces instrumens qu'on nomme *Hygrométres*, & à qui l'on donne tant de formes différentes ; consistent prin-

IX. LEÇON.

cipalement en une corde de chanvre ou de boyaux qui marque en s'allongeant & en se raccourcissant, ou bien en se tordant & en se détordant, s'il regne dans l'air plus ou moins d'humidité. Le plus simple de tous se fait avec une corde de 10 ou 12 pieds que l'on tend foiblement dans une situation horizontale & dans un endroit à couvert de la pluïe, quoiqu'exposé à l'air libre; on attache au milieu un fil de laton, au bout duquel on fait pendre un petit poids qui sert d'index, & qui marque sur une échelle divisée en pouces & en lignes les dégrés d'humidité en montant, & ceux de la sécheresse en descendant. *Voyez la Figure* 7.

Assez souvent on fait des hygrométres avec un bout de corde de boyaux que l'on fixe d'un côté à quelque chose de solide, & que l'on attache par l'autre, perpendiculairement à une petite traverse qui tourne à mesure que la corde se tord ou se détord, & qui marque, comme une aiguille, sur la circonférence d'un cadran, les dégrés de sécheresse & d'humidité, *Fig.* 8. ou bien on place sur


Hum
Sec
Fig. 9.
Fig. 8.
Fig. 1.
C
D
B
G
Fig. 2.
Fig. 4.
A
B
F
G
C
D
E
F

les extrémités de la petite barre deux figures humaines de carton ou d'émail, dont l'une rentre & l'autre sort d'une petite maison qui a deux portiques, lorsque le sec ou l'humide fait tourner la corde; & l'on fait porter un petit parapluie à celle des deux figures que le mouvement de la corde fait sortir lorsque l'humidité augmente. *Voyez la Figure 9.*

Les hygrométres que l'on fait de cette façon ou d'une maniére équivalente, en cachant la corde pour y mettre un air de mystére, ne sont bons que pour amuser les enfans; & l'on ne doit point s'attendre qu'ils apprennent quel est l'état actuel de l'atmosphére, par rapport à l'humidité & à la sécheresse, parce qu'on les garde dans des appartemens fermés, & que la corde, qui en est l'ame, est contenuë comme dans un étui, où l'air ne se renouvelle que peu ou point.

Enfin le meilleur de ces instrumens n'apprend presque rien autre chose, sinon que la corde est mouillée ou qu'elle est séche: car, 1°. l'humidité qui l'a une fois pénétrée n'en sort que

IX. LEÇON.

peu-à-peu, & selon l'exposition du lieu, le calme ou le vent qui régne: & bien souvent il arrive que l'atmosphére a deja perdu une grande partie de son humidité, avant que la corde en puisse donner aucun signe: 2°. Tout ce qu'on peut attendre d'un hygrométre à corde; c'est qu'il fasse connoître s'il y a plus ou moins d'humidité dans l'air, par comparaison au jour précédent; & l'on sçait cela par tant d'autres signes, qu'il est assez inutile de faire une machine qui n'apprend rien de plus. Ce qu'il importeroit le plus de sçavoir, c'est de combien l'humidité ou la sécheresse augmente ou diminuë d'un tems à l'autre, & de pouvoir rendre ces sortes d'instrumens comparables; sans cet avantage, que les hygrométres à cordes n'auront probablement jamais, ils ne méritent guéres qu'on les compte au nombre des instrumens météorologiques.

X. LECON.

Sur la nature & les propriétés de l'Air.

X. LEÇON.

IL eſt peu de matiéres dont la connoiſſance nous intéreſſe autant que celle de l'air : ce fluide, dans lequel nous ſommes plongés dès l'inſtant de notre naiſſance, & ſans lequel nous ne pouvons vivre, mérite ſans doute l'attention de tous les êtres penſans qui le reſpirent ; ſon action continuelle ſur nos corps a beaucoup de part aux différens états qu'ils éprouvent ; nous avons ſans ceſſe quelque choſe à eſpérer ou à craindre des changemens dont il eſt ſuſceptible. C'eſt par les propriétés & par les influënces de l'air, que la nature donne l'accroiſſement & la perfection à tout ce qu'elle fait naître pour nos beſoins & pour nos uſages ; c'eſt par l'air qu'elle tranſporte & qu'elle diſtribuë les ſources de la fécondité aux différentes parties de la

X. LEÇON.

terre. L'air agité est, pour ainsi dire, l'ame de la navigation : par le moyen du vent, des vaisseaux qu'on pourroit regarder comme autant de villes flottantes, passent d'un bord à l'autre de l'Océan ; & l'on voit tous les jours en commerce des nations qui sembloient devoir s'ignorer perpétuellement, eû égard à la distance des lieux. Le son, la voix, la parole même ne sont qu'un air frappé, un souffle modifié, qui devient le véhicule de nos pensées, & qui a le pouvoir d'exciter & de calmer les passions. (a) Tant de merveilleux effets ne peuvent s'apprendre avec indifférence : l'esprit qui est capable de les admirer, ne peut être insensible au plaisir d'en connoître les causes.

En quelqu'endroit qu'on se transporte sur la terre, soit qu'on change de climat, soit qu'on s'éleve des lieux les plus bas à la cîme des plus hautes montagnes, on se trouve toujours dans l'air ; on ne connoît aucun lieu ni aucun tems où ce fluide ait man-

(a) *Ipse aër nobiscum videt, nobiscum audit, nobiscum sonat ; nihil enim eorum sine eo fieri potest.* Cic. de Nat. Deor. lib. 2. cap. 33.

qué : cette considération nous autorise à croire que le globe que nous habitons est entouré d'air de toutes parts : & cette espèce d'enveloppe que l'on nomme communément l'*Atmosphère*, a des fonctions si marquées, elle a tant de part au méchanisme de la nature, qu'on ne peut point douter qu'elle n'ait commencé avec la terre, & qu'elle ne doive durer autant qu'elle.

X. LEÇON.

En qualité d'atmosphère terrestre, l'air a des propriétés qui ne lui appartiennent plus, lorsqu'on n'en considére qu'une petite portion, & que l'on fait abstraction de tout ce qui pourroit s'y mêler d'étranger ; comme ces propriétés ne sont, pour ainsi dire, qu'accidentelles, & qu'elles ne procédent pas directement de la nature de l'air, mais plutôt de sa quantité, de la figure de sa masse, de son mélange avec d'autres corps, &c. je crois qu'il est à propos de commencer par établir celles qu'il a toujours en qualité d'air, & indépendamment des conditions dont nous venons de parler.

X. LEÇON.

PREMIERE SECTION.

De l'Air considéré en lui-même, indépendamment de la grandeur & de la figure de sa masse.

IL est presqu'inutile de dire que l'air est une substance matérielle : si l'on excepte les enfans qui n'ont point encore fait usage de leur raison, ou des hommes grossiers & sans éducation qui n'ont jamais réfléchi sur les choses les plus communes, il n'y a personne maintenant qui ne reconnoisse dans ce fluide les principaux attributs qui caractérisent les corps, l'étenduë, la divisibilité, la résistance, &c. tout le monde sçait qu'il peut recevoir & transmettre le mouvement ; & si l'on dit qu'un vase est vuide quand on en a répandu l'eau, c'est une expression autorisée par l'usage, mais dont on reconnoît généralement la fausseté ou le peu de justesse.

Les Auteurs anciens, comme les modernes, ont reconnu que l'air est

une matiére. Ceux d'entr'eux qui l'ont qualifié d'*eſprit*, ont ſans doute employé ce terme dans le ſens figuré, pour exprimer la ſubtilité de ce fluide, ou pour faire entendre combien il eſt néceſſaire, pour la vie des animaux, & pour l'accroiſſement des plantes; ou s'il faut prendre cette expreſſion littéralement, on a tort de traduire le mot latin *Spiritus* par celui d'*Eſprit*; il ſignifie également un ſouffle, un air agité, & l'on doit croire qu'aucun Phyſicien ne l'a entendu autrement. Au reſte l'autorité n'a point de force lorſqu'elle ſe trouve en contradiction avec l'expérience; l'uſage de l'éventail fait ſentir la réſiſtance de l'air aux perſonnes mêmes qui cherchent le moins à s'en convaincre; & lorſque nous avons prouvé l'impénétrabilité des corps en général, les expériences que nous avons employées ont fait connoître ſpécialement celle de l'air.

X. LEÇON.

Quelques Phyſiciens * ont penſé que l'air pourroit bien n'être autre choſe qu'un mélange des particules les plus ſubtiles qui s'exhalent de tous les autres corps, & qui étant trop di-

* *Otto de Guerike, Exper. nov. Magdeb. lib 2. c. 1. & lib. 4. c. 1. Boyle, Exp. Phyſ.*

X. LEÇON.

visées pour reprendre leur premiére forme, demeurent sous celle d'un fluide particulier qu'elles composent: mais outre que cette opinion n'est appuyée sur aucune preuve, l'air a des propriétés constantes, des caractéres inaltérables par lesquels il se fait toujours connoître, & qui ne manqueroient pas de varier selon les circonstances du tems & du lieu, s'il étoit vrai qu'ils dépendissent de la décomposition de plusieurs matiéres & de l'assemblage de tant d'extraits. Il est donc plus naturel de penser que l'air est une espéce de substance particuliére; dont la nature est fixe, que ses parties intégrantes sont homogénes, ou que ses principes sont unis de tout tems, pour ne céder à aucun des efforts que nous pourrions faire pour le décomposer.

Mech. edit. Genev. 1667. p. 69.

s' Gravesf. Physices Elem. Mathem. p. 36. edit. 1742.

La fluidité de l'air est telle qu'on ne la voit jamais cesser, tant que ses parties se touchent, & que leur contiguité n'est point interrompuë par une trop grande quantité de matiére étrangére. Nous voyons communément des liqueurs se glacer par le froid; certains fluides comprimés

ceſſent de couler, & ſe fixent ſous la figure qu'on leur fait prendre: mais dans quelque climat & dans quelque ſaiſon que ce ſoit, on ne voit jamais aucune partie de l'atmoſphére devenir ſolide; & la compreſſion la plus forte qu'on ait jamais employée, n'a pû durcir ou fixer l'air. La fluidité eſt-elle donc de ſon eſſence? eſt-il abſolument impoſſible qu'il la perde? c'eſt ce que l'on ne voit pas; mais auſſi ce ſeroit une témérité d'avancer le contraire, ſans en apporter des preuves. X. LEÇON.

Cette fluidité ſi conſtante de l'air viendroit-elle de la ſeule ſubtilité de ſes parties, comme l'a penſé un ſçavant Chymiſte *? c'eſt ce que l'on ne préſumera pas, ſi l'on fait attention que l'eau, & quelques autres liqueurs, qui ceſſent d'être fluides par un grand froid, paſſent à travers de certains corps que l'air ne peut jamais pénétrer **; car ſi la ténuité des parties étoit capable d'entretenir conſtamment la fluidité, ou l'eau ne devroit pas ſe glacer plus que l'air, ou l'air, qui ne ſe glace jamais, devroit avoir des parties plus fines, plus pénétrantes que ne le ſont celles

* *Boerhaave Chemia. tom. I. p. 230.*

** *Boyle's nov. Exper. Phyſ. Mech. edit. Geneu. p. 102.*

X. LEÇON.

de l'eau. Or c'eſt un fait conſtaté par M. de Reaumur *, que l'air ne paſſe point à travers du papier mouillé, & de quelques autres matiéres qui ſont très-propres à filtrer l'eau ; d'où il réſulte que les parties de l'air ſont plus groſſiéres ou moins ſubtiles que celles de l'eau, à moins que la figure dans les unes ne compenſe la ténuité des autres.

* *Mem. de l'Academie des Scienc. 1714. pag. 59.*

Il eſt aſſez vraiſemblable que l'air demeure conſtamment fluide, parce qu'il eſt parfaitement élaſtique : s'il n'étoit que compreſſible, ſes parties rapprochées pourroient peut-être ſe toucher d'aſſez près pour former un corps dur, & rien ne les obligeroit à ſortir de cet état, comme la neige preſſée entre les mains prend la figure & la conſiſtance d'une boule ſolide ; mais le reſſort qu'elles ont, tend toujours à rarefier la maſſe qu'elles compoſent, parce que la plus forte compreſſion ne peut que le tendre & non pas le forcer ; par ce moyen ces parties conſervent cette mobilité reſpective en quoi conſiſte la fluidité.

On peut concevoir les parties intégrantes de l'air comme des petits

X. LEÇON.

filamens contournés en forme de ſpires flexibles & élaſtiques, & leur aſſemblage à peu-près comme un paquet de coton ou de laine cardée que l'on peut réduire en un plus petit volume lorſqu'on le preſſe, mais qui tend toujours à ſe remettre dans ſon premier état. Cette idée n'eſt qu'une eſquiſſe bien groſſiére de la nature de l'air ; & j'avouë qu'il y a peut-être cent contre un à parier, que les parties de cet élément n'ont point la figure que je leur attribuë, parce que pour les ſuppoſer telles, je n'ai d'autre raiſon que leur flexibilité & leur reſſort, & qu'elles peuvent être élaſtiques avec cent figures différentes d'un filet ſpiral : auſſi lorſque j'adopte cette hypothéſe avec la plûpart des Phyſiciens, je ne prétends point dire ce qu'elles ſont, mais ſeulement ce qu'elles peuvent être ; & c'eſt moins pour prendre un parti ſur leur figure, que pour être en état de faire mieux connoître le reſſort admirable du fluide qu'elles compoſent, & quelques autres propriétés dont nous parlerons ci-après.

On dit communément que l'air eſt

X. LEÇON.

sec ; mais pourquoi lui attribuë-t'on cette qualité ? est-ce parce qu'il enléve de la surface des corps l'humidité qui s'y trouve ? En effet, il arrive assez souvent qu'il fait l'office d'une éponge ; mais aussi dans plusieurs cas il rend humides les corps qu'il touche, parce que les parties aqueuses dont il est toujours plus ou moins chargé, s'attachent à certaines matiéres plus facilement & plus fortement qu'à l'air même : on expose du linge à l'air pour le faire sécher ; mais le même procédé auroit un effet tout contraire à l'égard du sel de tartre ou de quelque autre sel ; c'est pourquoi les cordes ou les toiles qui ont trempé dans l'eau de la mer se séchent difficilement à l'air, parce que l'eau demeure opiniâtrément attachée aux particules salines qui tiennent à la superficie.

Dira-t'on que l'air est sec, parcequ'il ne mouille pas comme les liqueurs ? alors il faut convenir de ce qu'on doit entendre par le terme de *mouiller* ; s'il signifie adhérer à la surface des corps solides, on doit demeurer d'accord que l'air mouille au

moins un grand nombre de matiéres : car c'eſt un fait certain que ſi l'on verſe dans un vaſe quelque liqueur qui oblige l'air d'en ſortir, il demeure toujours une couche de ce fluide adhérente aux parois ; on ne l'apperçoit pas communément, parce qu'elle eſt fort mince & tranſparente ; mais elle devient ſenſible quand on la dilate, ſoit qu'on chauffe fortement le vaſe, ſoit qu'on le mette dans le vuide : & c'eſt par cette raiſon qu'un barométre qui n'a point été rempli au feu, c'eſt-à-dire, dont le mercure n'a point bouilli dans le tube, paroît terne ; & qu'on y apperçoit une infinité de petites bulles d'air qui ſont demeurées attachées au verre. Si mouiller ſignifie cette impreſſion qui ſe fait ſur la peau lorſque nous touchons une liqueur, impreſſion toujours différente de celle d'un corps ſolide, parce que les parties mobiles entr'elles & très-déliées, ſe moulent dans les pores, & procurent un attouchement plus exact & plus complet ; dans ce ſens l'air mouille auſſi, & ſi nous nous en appercevons moins, c'eſt que l'im-

X. LEÇON.

X. LEÇON.

preſſion qu'il a coûtume de faire ſur notre peau nous eſt plus familiére : ſa façon de mouiller eſt différente, ſans doute, de celle des liqueurs, comme celles-ci mouillent auſſi différemment les unes des autres ; l'eſprit-de-vin mouille autrement que l'eau, & l'eau ne mouille pas comme l'huile ; c'eſt-à-dire, que leur application ſur la peau excite des ſenſations différentes.

Dès que l'on ſçait par un nombre infini d'obſervations familiéres, que l'air eſt matériel, que ſes parties réünies forment une maſſe réſiſtante, mobile, & capable de mouvoir d'autres corps, il eſt preſque ſuperflu d'examiner s'il eſt peſant ; car quoique la péſanteur ne ſoit pas un attribut eſſentiel à la matiére, & qu'on puiſſe bien la concevoir ſans cette tendance au centre de la terre ; cependant nous n'avons aucun exemple à citer qui nous autoriſe à excepter l'air de cette loi commune ; & nous devons préſumer qu'il y eſt aſſujetti comme les autres corps ſublunaires, à moins que nous n'ayons des preuves du contraire.

Mais bien loin d'avoir aucune raiſon

son pour attribuer à l'air une légéreté absoluë, des faits sans nombre nous forcent à reconnoître son poids : nous en avons rapporté plusieurs en traitant de l'hydrostatique : en voici d'autres qui le prouvent directement.

X. LEÇON.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 1. représente une de ces pompes que l'on nomme communément, *Machines pneumatiques* ; quoique ce nom, à le prendre selon son étymologie, convienne également à toutes les machines qui servent aux expériences qu'on fait sur l'air ; cependant par un usage qui a prévalu, il désigne spécialement celle avec laquelle on fait le *vuide*, c'est-à-dire, avec laquelle on pompe l'air d'un vaisseau, apparemment parce qu'elle a plus de célébrité que les autres, & que par son moyen on a fait un grand nombre de curieuses & utiles découvertes en ce genre. Son premier Auteur fut Otto de Guerike, Consul ou Bourguemestre de Magdebourg, qui commença à la faire connoître à Ra-

X. LEÇON.

tisbonne l'an 1654. Quelques années après, Boyle en fit construire une à peu-près semblable qu'il a beaucoup perfectionnée depuis. Le grand usage que fit de cette machine le Philosophe Anglois, & le succès de ses expériences, firent perdre de vûë le Magistrat Allemand à qui l'on en doit l'invention, de sorte qu'à présent le principal effet de cette pompe se nomme communément *le Vuide de Boyle*. M. Homberg touché des progrès qu'avoit fait la Physique en Allemagne & en Angleterre, par le moyen de cette ingénieuse machine, & n'ignorant pas de quelle utilité elle pouvoit être entre les mains des Sçavans, chercha les moyens de la rendre plus exacte qu'elle n'avoit été jusqu'alors; & par ses soins, l'Académie royale des Sciences, dont il étoit membre, en fit faire une il y a environ 45 ans, que l'on voit encore au Jardin du Roi parmi les instrumens qui lui appartiennent. Enfin depuis que j'ai embrassé une profession qui me rend l'usage de cette pompe aussi fréquent que nécessaire, je me suis appliqué à la rendre telle, qu'elle pût

être d'un service plus sûr, plus commode & plus étendu qu'elle n'avoit été précédemment : on pourra juger si j'ai rempli ces trois objets, en lisant dans les Mémoires de l'Académie pour les années 1740 & 1741, les changemens & les augmentations que j'ai faits à cette machine, dont on trouvera l'histoire & la description, avec un détail que je ne puis me permettre ici.

X. LEÇON.

Je dirai seulement, pour faciliter l'intelligence des faits que j'ai à rapporter dans la suite de cette Leçon, que la machine pneumatique dont je me sers est composée de six parties principales, sçavoir. 1°. d'un corps de pompe de cuivre *A* : 2°. d'un piston dont le manche est terminé en forme d'étrier *B*, pour être abbaissé avec le pied, & garni d'une branche montante avec une poignée *C*, pour être relevé avec la main : 3°. d'un robinet dont on voit la clef en *D* : 4°. d'une platine couverte d'un cuir mouillé, sur lequel on pose le récipient ou la cloche de verre *E* : 5°. d'un pied *FG*, avec deux tablettes *H*, *H*, qui peuvent se hausser & se baisser à volonté ;

X. LEÇON.

6°. d'un rouet *I KL*, avec lequel on peut transmettre un mouvement très-rapide dans un récipient, après qu'on en a pompé l'air.

Comme on ne peut pas faire le vuide d'un seul coup, il faut qu'on puisse remonter le piston sans faire rentrer dans le récipient l'air qu'on en a ôté, & qui a passé dans le corps de la pompe : pour cet effet la clef du robinet est percée de façon qu'en lui faisant faire un quart de tour, on ouvre une communication par laquelle le piston, en se relevant, pousse l'air du dedans au dehors de la pompe, & l'on ferme en même-tems tout accès du côté du récipient : ensuite en remettant la clef dans la premiére situation, on est en état de donner un nouveau coup de piston.

Les autres fonctions de cette machine dépendent des propriétés mêmes de l'air que je dois faire connoître ; c'est pourquoi je différe d'en parler jusqu'à ce que j'aye donné une idée assez étenduë de ce fluide sur lequel elle agit.

La *Fig.* 2. est un ballon de verre qui contient environ 15 pintes de Pa-

ris : le col eſt garni d'une virolle de cuivre, & d'un robinet qui s'ajuſte à une vis qui excéde de quelques lignes la platine de la machine pneumatique au centre, de ſorte qu'on peut le vuider d'air, & le garder en cet état.

La *Fig.* 3. eſt une balance très-mobile à laquelle on met en équilibre le ballon vuide ; & pour conſerver au fleau une plus grande mobilité par la diminution des frottemens de ſon axe, on peut péſer le ballon dans l'eau, ce qu'il eſt aiſé de faire en y attachant des poids qui l'obligent à ſe plonger entiérement : alors la balance n'eſt chargée que de la péſanteur reſpective du balon plongé, qui peut être diminuée autant que l'on veut, & du poids que l'on met de l'autre part pour le tenir en équilibre, comme nous l'avons fait voir dans la huitiéme Leçon, par les expériences qui prouvent la ſeconde propoſition.

EFFETS.

Lorſqu'on ouvre le robinet du ballon ſuſpendu pour y laiſſer rentrer l'air, & qu'on le referme enſuite pour

X. LEÇON.

le laisser se plonger sans que l'eau y puisse entrer, il se trouve toujours plus pésant que le poids de l'autre part avec lequel il étoit d'abord en équilibre.

EXPLICATIONS.

Cette expérience est la plus simple & la plus décisive de toutes celles qu'on employe pour prouver que l'air a une pésanteur absoluë; car on sçait que dans l'usage de la balance ordinaire un poids ne peut être enlevé que par un plus grand poids; puisque le ballon devient plus pésant dès qu'il s'emplit d'air, c'est une marque certaine que cette augmentation vient du fluide qu'il a reçû.

On dira peut-être que le ballon, en se remplissant, ne reçoit point ce nouveau poids de l'air même qui y rentre, mais plutôt des corps étrangers, & des vapeurs aqueuses dont il est toujours chargé, & qui s'introduisent avec lui.

Quoique cette objection, au premier coup d'œil, ait tout l'air d'une mauvaise difficulté, & qu'elle n'ait arrêté presque personne de ceux qui

ont fait ou connu cette expérience avant moi, je ne puis cependant dissimuler qu'elle m'a paru forte, surtout lorsque j'ai vû, par des épreuves faites en différens tems, qu'un volume d'air de 2 ou 3 pintes pris au hazard dans l'atmosphére, contenoit toujours assez d'eau pour rendre une once de sel de tartre sensiblement humide & plus pésante; car si l'on joint au poids de cette eau celui des autres matiéres qui sont infailliblement répanduës avec elle dans le même volume d'air, & que le sel de tartre n'a point absorbées, on pourroit être tenté de croire que de toute la pésanteur du fluide mixte, il n'y a rien qui appartienne aux parties propres de l'air. X. LEÇON.

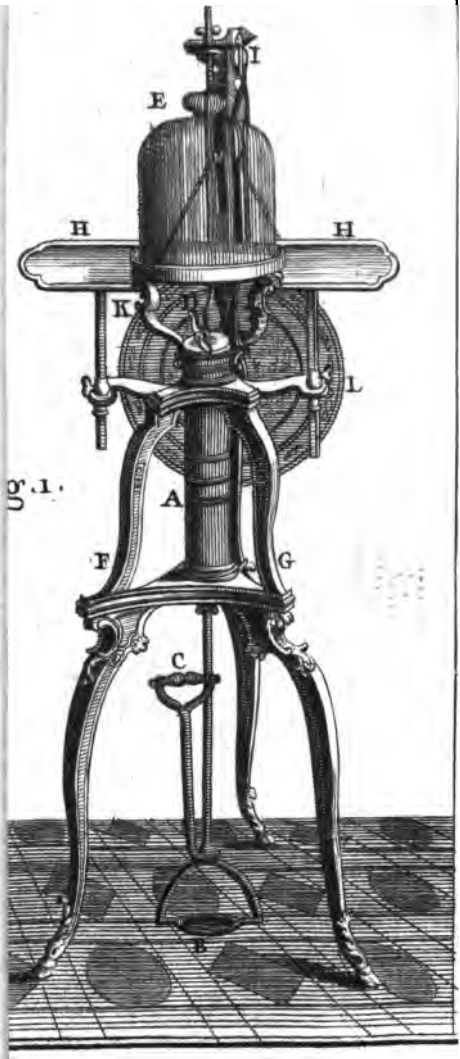
Cette considération a fait dire à M. Boerhaave * que l'air, de même que le feu, pourroit bien ne péser vers aucun point déterminé de l'Univers: je ne me suis point arrêté à cette conjecture; & bien loin de céder à la difficulté, je me suis mis en état de la combattre par le procédé que voici.

* *Chemia, tom. 1. pag. 267.*

Je suspens le ballon plein d'air à la

X. LEÇON.

balance, & je le tiens en équilibre dans l'eau avec un poids connu : ensuite, sans le changer de situation, j'applique au robinet un sciphon qui répond à la machine pneumatique pour y faire le vuide ; à mésure que je rarefie l'air, je vois tomber au fond du ballon les vapeurs dont il est chargé, & qui ne sont point de nature à se raréfier comme lui & à le suivre ; de cette maniére je fais rester dans le ballon (au moins pour la plus grande partie) ces corps étrangers à qui l'on pourroit soupçonner qu'il doit tout son poids, & je suis comme certain que ce qui sort du vaisseau est de l'air pur ; cependant lorsque j'ai fermé le robinet, & que j'essaye de remettre le ballon vuide en équilibre avec le premier poids, je le trouve, à peu de choses près, d'autant plus léger qu'il étoit plus pésant dans la premiére expérience ; d'où il suit inconteſtablement que l'air par lui-même & indépendamment des vapeurs & des exhalaisons avec lesquelles il se trouve mêlé, augmente le poids d'un vaisseau qu'il remplit.



g.1.

APPLICATIONS.

X. LEÇON.

Par le moyen des expériences que je viens de rapporter, non-seulement on peut s'assurer de la pésanteur absoluë de l'air ; mais on peut connoître aussi quelle est sa pésanteur spécifique, en comparant un volume d'air connu dont on sçait le poids, avec un pareil volume d'une autre matiére que l'on pése séparement : un exemple rendra ceci plus intelligible.

Après avoir mis mon ballon plein d'air & plongé dans l'eau en équilibre au bras de la balance, si je le rends plus léger en pompant la plus grande partie de l'air qu'il contient, le poids que j'ajoûte ensuite de son côté pour rétablir l'équilibre, est justement celui de l'air qui en est sorti. Je renverse aussi-tôt le ballon dans l'eau, de maniére que l'orifice regarde le fond du vaisseau, & j'ouvre le robinet ; alors le poids de l'atmosphére pousse dans le ballon un volume d'eau qui égale celui de l'air qu'on a ôté : je ferme le robinet ; je remets le ballon dans sa premiére situation, & je charge le bassin de la balance, jus-

X. LEÇON.

qu'à ce que tout soit en équilibre ; le poids que je suis obligé d'y mettre, est celui d'un volume d'eau qui est entré dans le ballon, ainsi en comparant les deux poids, je vois le rapport qu'il y a entre deux volumes égaux d'air & d'eau. En procédant ainsi, M. Hauxbée a trouvé que la pésanteur spécifique de l'air est à celle de l'eau, à-peu-près comme 1 est à 885.

Au récit de ces expériences, on croiroit volontiers qu'il n'y a rien de plus facile à faire que cette comparaison du poids de l'air à celui d'un autre fluide par le moyen de la balance : cependant on n'en vient à bout qu'avec beaucoup de soins ; & quelques précautions que l'on prenne, il reste toujours de l'incertitude dans le résultat.

La difficulté vient, 1°. de ce que tous les fluides, & généralement tous les corps se dilatent par la chaleur, & se condensent par le froid, de sorte que l'air & l'eau que l'on compare dans le mois de Juin n'ont pas la même densité qu'au mois de Janvier : cet inconvénient ne seroit pas d'une

si grande conséquence, si ces matières, en se dilatant ou en se condensant, gardoient toujours entr'elles le même rapport ; mais il s'en faut bien que cela soit, & ce n'est point une petite affaire que de bien connoître les variations qu'elles éprouvent selon leur différentes températures.

2°. Comme il n'y a point d'air parfaitement pur, aussi n'y a-t'il point d'eau qui ne contienne quelque chose d'étranger ; & quoi qu'en disent quelques Auteurs, il y a bien des eaux, qui au même dégré de chaud & de froid, différent sensiblement de pésanteur entr'elles. Or s'il est nécessaire de sçavoir quelle eau ou quel air on a pesé, pour conclure avec précision le rapport de l'une à l'autre, on ne peut donc prononcer en général qu'un à-peu-près.

3°. Les variations du baromètre nous apprennent que la pression de l'atmosphére n'est pas toujours la même ; & nous verrons bien-tôt que l'air change de densité selon qu'il est plus ou moins comprimé. Il peut donc arriver que le volume d'air mesuré par la capacité du ballon, soit

X. LEÇON.

plus pésant dans un tems que dans un autre ; c'eſt pourquoi M. Hauxbée, dans le récit de ſon expérience, n'a obmis ni la hauteur actuelle du mercure dans le barométre (*a*), ni la ſaiſon dans laquelle il a opéré ; au lieu de citer ſeulement le mois (*b*), il auroit ſans doute déſigné la température par le dégré du thermométre, s'il y en avoit eû alors de comparables comme à préſent.

4°. Pour comparer exactement le poids de l'air avec celui de l'eau, il faut qu'en plongeant l'orifice du ballon où l'on a fait le vuide, il y rentre juſtement autant d'eau qu'il en eſt ſorti d'air, ſans quoi ce ne ſeroit plus comparer enſemble deux volumes égaux. Mais on ſçait que quand une liqueur ſe trouve dans le vuide, l'air qu'elle contient s'en dégage, & s'éléve au-deſſus : c'eſt le cas où ſe trouve l'eau qui commence à monter dans le ballon : elle blanchit par la quantité des bulles d'air qui s'en échappent : & cet air occupant la

(*a*) 29. p. $\frac{1}{2}$, meſure d'Angleterre, c'eſt-à-dire un peu moins que 28. pouces de France.

(*b*) Mai.

partie supérieure du vaisseau, empêche qu'il ne reçoive autant d'eau qu'il devroit y en entrer, eû égard au vuide qu'on y avoit fait. Il faudroit donc avoir bien purgé d'air l'eau dont on veut se servir dans cette expérience ; & c'est ce qu'il ne paroît pas qu'on ait fait jusqu'à présent : d'où il suit que l'on a conclu la pésanteur spécifique de l'air un peu plus grande qu'elle n'est en effet,

On ne doit donc pas être surpris de trouver si peu d'accord entre les Auteurs qui ont tenté ces sortes d'expériences, sur-tout dans des tems où les procédés étoient d'autant plus difficiles, qu'on étoit moins instruit des faits, & qu'on n'avoit pas les moyens dont on peut s'aider maintenant. Galilée établit le rapport de l'air à l'eau comme 1 à 400 ; le Pere Mersene comme 1 à 1346 : quelle différence ! de tous les Physiciens qui ont cherché depuis à résoudre cette question, personne n'a trouvé l'air aussi pésant qu'il le seroit suivant le premier de ces résultats, ni aussi léger qu'il paroît l'être par le dernier (*a*) :

(*a*) Boyle, dans ses Expériences Physicomech.

X. LEÇON.

& si l'on prend un milieu entr'eux, il paroît assez constant que l'eau de pluïe est environ 900 fois plus pésante que l'air, l'un & l'autre étant pris dans une température moyenne, comme de 12 degrés au-dessus du terme de la glace, le barométre étant à 28 pouces.

Comme les volumes sont en raison réciproque des pésanteurs spécifiques, il faudroit donc un volume d'air d'une densité uniforme & égal à 900 pieds cubes, pour faire équilibre à un pied cube d'eau qui pése environ 70 livres; d'où il suit que la pésanteur absoluë d'un pied cube d'air, est à peu près une once & deux gros (a),

La pésanteur de l'air étant une fois connuë, on ne doit plus être surpris de sentir la main s'attacher sur un pe-

conclut que l'eau commune est 938. fois plus pésante que l'air; & dans d'autres endroits; il varie sur cette estimation. M. Homberg, comme il paroît par l'histoire de l'Académie des Sciences, après avoir aussi changé plusieurs fois d'avis, a donné le rapport de l'air à l'eau, comme 1. à 1087.; M. Halley, comme 1. à 860.; M. Hauxbée comme 1. à 885.; M. Muschenbrock comme 1. à 681.

(a) Wolf. Elem. Aërom. p. 741. dit qu'un pied cube d'air pése une once 27. grains.

tit récipient ouvert par le haut, lorsqu'on y fait le vuide par le moyen de la machine pneumatique ; car tant que le vase est plein d'un air aussi dense que celui de l'atmosphère, la main se trouve appuyée non-seulement sur les bords, mais encore sur la masse du fluide qui est renfermé ; & qui résiste à la pression extérieure ; mais quand on a fait le vuide, la main, toujours pressée par l'air du dehors, ne se trouve plus soûtenuë que par les bords du récipient ; & pour l'en séparer, il faudroit faire de bas en haut un effort capable de soulever la colonne d'air qui pése dessus. Or le poids de cette colonne égale celui d'un cylindre de mercure qui auroit pour base le plan qui est terminé par les bords du récipient, & 27 à 28 pouces de hauteur, comme on l'a vû par la fameuse expérience de Toricelli *, * 7. Leçon p. 297.

X. LEÇON.

Il suit de-là que cette pression est d'autant plus grande & plus sensible que le récipient a plus d'ouverture par en haut ; c'est pourquoi la main y tient bien davantage que le bout du doigt, lorsqu'on le pose sur le trou même qui est au centre de la platine ;

X. LEÇON.

& par la même raison, une clef forée que l'on suce, & qui s'attache ensuite à la langue ou à la lévre, s'en détache d'autant plus difficilement que le canal est plus gros.

Quand on fait ainsi le vuide sous la main, ou sous quelqu'autre partie du corps, on doit avoir soin que les bords du récipient ne soient pas trop aigus; car ils pourroient bien entâmer la peau : on peut en faire l'épreuve avec la moitié d'une pomme ou avec une tranche de navet ; au premier coup de piston, il arrive presque toujours qu'il s'en détache un cercle qui entre dans le vase avec impétuosité & avec bruit.

Cette adhérence que l'on peut faire naître par la pression de l'air extérieur, pourroit être employée fort utilement dans la Chirurgie : je ne parle point de la ventouse qui est si connuë ; & dont l'usage est maintenant assez négligé en France ; mais n'y auroit-il pas des occasions où l'on auroit besoin de saisir, pour un peu de tems, une partie délicate, qui, par sa figure, par son volume, ou par sa molesse, ne donne point de prise aux tenetes &

autres instrumens ? une petite pompe dont l'orifice formé en pavillon, pourroit être de telles dîmensions, & garni de telle maniére qu'on le jugeroit à propos pour l'opération, deviendroit un moyen sûr & avantageux entre les mains d'un homme intelligent ; c'est aux gens de l'art à juger de l'application qu'on en pourroit faire.

Il semble d'abord que cette pression extérieure de l'air, qui vient de son poids, devroit écraser les cloches de verre, dont on couvre la platine de la machine pneumatique pour faire le vuide ; mais pour peu qu'on y fasse attention, on verra que ces vaisseaux, étant toujours uniformément arrondis en forme de cylindre ou de voûte, sont à l'abri de cet accident : comme la surface extérieure est nécessairement plus grande que celle du dedans, toutes les parties qui composent l'épaisseur, ressemblent à celles dont on fait les cintres ; ce sont autant de coins ou de pyramides tronquées, qui se soutiennent mutuellement, à mesure qu'elles sont pressées vers un axe ou un centre com-

X. LEÇON.

mun, par l'action d'un fluide qui pése en tout sens. On peut voir par la *Fig.* 4. l'épaisseur d'un récipient coupé selon son axe, & par la *Fig.* 5. le même vaisseau coupé parallélement à sa base.

Ce qui prouve bien que la forme arrondie défend les vaisseaux contre le poids de l'air, lorsqu'ils en sont vuides, c'est qu'ils se cassent infailliblement, quand ils ont une autre figure. Que l'on applique à la machine pneumatique celui qui est représenté par la *Fig.* 6. il est ouvert de part & d'autre, comme le petit récipient sur lequel on applique la main : mais au lieu de le boucher ainsi, on étend & on lie dessus un morceau de vessie mouillée qui lui sert de fond, & qu'on laisse sécher ; à mesure qu'on fait agir la pompe dessous pour le vuider, le poids de l'air extérieur fait prendre à cette vessie tenduë la forme d'une calotte renversée, & enfin elle crève avec éclat. Un morceau de verre de vitre, ou de glace de miroir, que l'on poseroit en la place de cette vessie, se briseroit de même, s'il étoit exactement appliqué sur les bords du vais-

X. LEÇON.

seau, par le moyen d'un cuir interposé, ou autrement. Les bouteilles de verre mince qui sont fort applaties, & ordinairement couvertes d'osier, crevent assez souvent, quand on les porte à la bouche à demi-pleines de liqueur, pour boire à même; car la succion raréfie l'air intérieur, & le poids de l'atmosphére agissant sur les deux côtés plats, les porte l'un vers l'autre, & brise le vaisseau.

Ces sortes d'épreuves, & sur-tout celle de la vessie, causent toujours quelque étonnement aux personnes qui les voyent pour la premiére fois, par le grand bruit qui les accompagne. Cet effet vient de ce que l'air entre avec une grande vîtesse (*a*) & tout à la fois en grand volume, dans un vaisseau vuide dont il frappe les parois: car le bruit vient primitivement du choc des corps, comme nous le ferons voir par la suite; & les fluides sont très-capables de heurter les solides.

(*a*) Selon M. Papin, l'air de l'atmosphére en rentrant dans le vuide, va avec une vîtesse qui lui feroit parcourir 1305. pieds dans une seconde. *Abregé de Lowthorp, Tome* 1. *page* 586.

X. LEÇON.

On remarque quelque chose de semblable, lorsqu'on tire brusquement le couvercle d'un étui à cure-dents, d'une écritoire de poche, ou le piston hors d'une seringue qui est bouchée par l'autre bout; c'est qu'alors on fait une sorte de vuide que l'air du dehors se hâte de remplir, dès que l'accès lui est libre : car pendant qu'on ouvre l'étui, la capacité *A B*, *Fig.* 7. s'augmente de la quantité *B C*, & l'air intérieur en devient d'autant plus rare; puisqu'au lieu d'être contenu entre *A B*, comme il l'étoit dans son état naturel, il s'étend jusques en *C* : mais ceci s'entendra encore mieux, quand nous aurons expliqué de quelle manière l'air se raréfie, lorsqu'on fait usage de la machine pneumatique.

La densité de l'air, d'où dépend sa pésanteur spécifique, n'est point constante, elle varie beaucoup non-seulement par le froid & par le chaud, comme il arrive à toutes les autres matières, mais aussi par une compression plus ou moins grande, à la manière des corps à ressort. Je dis à la manière des corps à ressort, parce

X. LEÇON.

que pendant tout le tems que l'air eſt comprimé, il conſerve conſtamment la faculté de s'étendre & d'occuper un plus grand eſpace, auſſi-tôt que l'on fait ceſſer les cauſes qui reſſerrent ſon volume, comme le crin, la laine, le duvet de plume, &c. avec cette différence cependant, que toutes ces matiéres perdent leur élaſticité en tout ou en partie, quand elles ſont trop fortement ou trop long-tems comprimées, au lieu que l'air ſe rétablit toujours parfaitement; au moins peut-on dire qu'il n'y a juſqu'à préſent aucun fait connu qui prouve le contraire (*a*).

L'air ſe comprime lui-même par ſon propre poids, de ſorte que celui que nous reſpirons dans la plaine, eſt plus denſe que celui qu'on trouve ſur une montagne; parce que celui-ci eſt chargé d'une colonne moins longue que celui-là.

Mais de quelque maniére que l'air ſoit comprimé, ſon reſſort fait tou-

(*a*) M. de Roberval a gardé pendant 15. ans de l'air comprimé dans une canne à vent; & après cet eſpace de tems, l'air a montré autant de force qu'il a coûtume d'en avoir en pareil cas.

X. LEÇON.

jours équilibre à la puissance qui l'estraint son volume, de maniére que si sa réaction devient libre, il pourra faire, en qualité de fluide élastique, tout ce qu'auroit pû faire la force qu'on a employée pour le comprimer; les expériences suivantes serviront d'éclaircissement & de preuves à ces propositions.

II. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

EFG, Fig. 8. est un tuyau de verre recourbé en forme de sciphon, dont la plus longue branche à environ 8 pieds de longueur, & la plus courte 12 pouces, à compter de *d* en *G*: ce tuyau peut avoir intérieurement 3 ou 4 lignes de diamétre, & la partie *d G* doit être parfaitement cylindrique; il est ouvert en *E*, & fermé en *G*; & il est attaché solidement sur une planche assez épaisse pour ne point plier facilement, & divisée en pouces de *d* en *E*, & de *d* en *G*. Cet instrument étant debout, on y fait couler un peu de mercure, de maniére que le coude en soit rempli:

on continuë enſuite de verſer du mercure dans la branche la plus longue ; & à meſure qu'elle s'emplit, on obſerve, par les graduations qui ſont marquées de part & d'autre, quels rapports gardent entr'elles les élévations du mercure dans les deux branches.

EFFETS.

Lorſque le mercure eſt élevé de 4 pouces au-deſſus du point *d* dans la plus courte branche : à compter du niveau de cette élévation, il s'en trouve 14 pouces dans la plus longue.

En continuant de verſer du mercure, on remarque que 6 pouces d'élévation vers *G*, répondent à 28 pouces de l'autre part ; & 9 pouces à 84.

EXPLICATION.

Avant que de faire couler du mercure dans l'inſtrument, toute ſa capacité eſt remplie d'un air qui eſt comprimé par le poids même de l'atmoſphére : en mettant du mercure dans le coude *d*, on diviſe cet air en deux colonnes, dont une *E d*, ſouf-

X. LEÇON.

fre toujours la même compreſſion de la part de l'air extérieur, avec qui elle communique : & l'autre *d G* doit être conſidérée comme un reſſort précédemment tendu par le poids de l'atmoſphére; tant que le mercure eſt en équilibre avec lui-même dans la ligne *d h*, cette petite colonne d'air faiſant auſſi équilibre par ſon reſſort à l'autre, qui péſe en *d*, ſon volume ne doit ni augmenter ni diminuer; mais lorſqu'on ajoûte du mercure dans la plus longue branche, il ne s'éleve pas également dans la plus courte, parce que l'air qui s'y trouve renfermé, lui fait obſtacle. Cette oppoſition cependant n'empêche pas qu'il ne ſoit reſtraint dans un plus petit eſpace, parce qu'alors il eſt preſſé, non-ſeulement par le poids de l'atmoſphére, comme auparavant, mais encore par une colonne de mercure, dont la hauteur ne doit ſe compter que du niveau de ſon élévation dans la plus courte branche, puiſque ce qu'il y en a au-deſſous de cette ligne eſt égal de part & d'autre.

* *Tome II. VII. Leçon p. 295. & ſuiv.*

On doit ſe ſouvenir qu'en parlant du barométre *, nous avons obſervé

X. LEÇON.

vé qu'une colonne de mercure d'environ 28 pouces de hauteur, péſe autant qu'une colonne d'air de même baſe, & de la hauteur de l'atmoſphére: 14 pouces de mercure ajoûtés au poids de l'air extérieur augmentent donc d'un tiers la preſſion qu'il exerce contre celui qui eſt entre *G d*; voilà pourquoi le volume de cette portion d'air ſe condenſe, & que ce cylindre, au lieu de demeurer long d'un pied, diminuë de 4 pouces, qui ſont le tiers de ſa premiére longueur.

Par la même raiſon, lorſque la colonne de mercure eſt de 28 pouces au-deſſus de ſon niveau, le poids de l'atmoſphére eſt doublé, & l'air qui ſoutient cette double compreſſion, ne forme plus qu'un cylindre de ſix pouces de hauteur; c'eſt-à-dire, que ſon volume diminuë de moitié.

Enfin 84 pouces de mercure ſont trois colonnes l'une ſur l'autre de 28 pouces chacune, dont la ſomme égale trois fois le poids de l'atmoſphére. & qui doivent par conſéquent faire perdre les trois quarts de ſon volume à la colonne d'air *d G* qu'elles com-

primment ; ainsi cette colonne de 12 pouces se réduit à trois.

X. LEÇON.

Cette expérience que l'on doit à Boyle * & à M. Mariotte **, prouve fort bien, comme on voit, que l'air comprimé diminuë de volume comme la pression augmente : & puisque la densité d'une matière croît à mesure que ses parties se rapprochent & qu'elles occupent ensemble un moindre espace, on peut dire que l'air se condense, en raison directe des poids dont il est chargé. Cependant il est assez raisonnable * de croire que cette proportion n'a pas lieu dans les degrés extrêmes, ou bien il faudroit supposer gratuitement, que l'air eût à cet égard un privilége exclusif ; car nous ne connoissons aucun corps élastique qui puisse être comprimé à l'infini, & toujours proportionnellement aux puissances dont il éprouve l'action. D'ailleurs comme l'air n'est jamais pur, & que les matières dont il est chargé, ne sont pas compressibles comme lui, on doit croire, qu'après une compression très-grande, ses parties cesseroient d'être flexibles, parce qu'elles seroient appuyées sur des

* *Contra Linum p.* 42.

** *Oeuvres de M. Mariotte, in-4. Tom. I. p.* 153.

* *Hist. de l'Academie* 1702. *p.* 2.

corps étrangers, dont la nature est de ne céder à aucune force connuë.

X. LEÇON.

Pour faire avec exactitude l'expérience que je viens de rapporter, il faut 1°. Que les deux branches de l'instrument soient paralléles entr'elles, & les tenir dans une situation bien verticale pendant qu'on observe les élévations du mercure; car comme les liquides pésent en raison de leur hauteur perpendiculaire à l'horison, si ces branches étoient panchées, la pression ne seroit pas comme la longueur des colonnes qu'elles renferment. 2°. Il faut prendre garde d'échauffer ou de refroîdir le volume d'air contenu dans la branche *d G*; car il changeroit de dimensions, indépendamment de la pression qu'il souffre de la part du mercure, & de l'air extérieur. 3°. On doit avoir soin que la branche courte soit intérieurement bien cylindrique; car autrement des parties égales mesurées sur sa longueur, ne donneroient pas des capacités semblables, & l'on ne pourroit pas conclure avec justesse, le degré de condensation de l'air par le raccourcissement de la colonne, qu'il

X. LEÇON.

représente à mesure que la compression augmente.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

II, Fig. 2. représente un seau rempli d'eau, dont on observe la température par le moyen d'un thermomètre qu'on y plonge; on assujettit dans ce premier vaisseau, avec un poids ou autrement, une bouteille dont l'orifice *L L* est fort large : on prépare ensuite un bouchon de liége que l'on perce au milieu pour recevoir le tube du baromètre *K M*, & l'on place l'un & l'autre de façon que la partie inférieure du baromètre soit dans la bouteille; après quoi l'on verse sur le bouchon de la cire fonduë & mêlée de térébenthine, pour empêcher qu'il n'y ait aucune communication entre l'air du dedans & celui du dehors; mais de peur que la chaleur de la cire n'échauffe l'air intérieur, & n'en change la densité, il faut pratiquer au travers du bouchon & de son enduit, un petit canal que l'on ne ferme que quand tout est bien refroîdi : alors

on marque avec un index à quelle hauteur le mercure se tient dans le baromètre.

EFFETS.

Non-seulement le mercure ne hausse ni ne baisse au moment qu'il est renfermé : mais quoique par la suite il fasse appercevoir ces sortes de variations suivant la température du lieu où il est ; toutes les fois qu'on le rappelle au dégré de chaud ou de froid qu'il avoit dans le vaisseau *I I*, où s'est faite la préparation, le mercure se remet à la hauteur indiquée par l'index : & cet effet est toujours le même après plusieurs années.

EXPLICATIONS.

Un instant avant qu'on ferme la bouteille, l'air qu'elle contient communiquant avec celui du dehors, fait encore partie de l'atmosphére, en soutient la pression, & la transmet en s'appuyant contre les parois intérieures du vaisseau ; & contre tout ce qui s'y trouve renfermé ; cet air agit alors comme pésant sur le réservoir du baromètre, & soutient le mercure à 28

X. LEÇON.

pouces. Auſſi-tôt que la bouteille eſt bouchée, cette même maſſe d'air n'a plus que ſon propre poids, qui eſt bien peu de choſe en comparaiſon de celui de l'atmoſphére, à qui elle étoit jointe précédemment: mais elle reſte comprimée ſelon toute la force de ce poids dont elle n'eſt plus chargée, & ſa réaction eſt égale à cette force; c'eſt pourquoi elle ſoutient, en qualité de corps à reſſort, les 28 pouces de mercure qu'elle portoit, lorſqu'elle péſoit avec l'air extérieur.

Il ſuit de cette épreuve que non-ſeulement le reſſort de l'air eſt égal à la force qui l'a comprimé, mais on voit auſſi que cette élaſticité ne s'affoiblit pas; comme celle des autres corps, par ſucceſſion des tems, puiſque le mercure ſe ſoutient, ou revient toujours au même dégré d'élévation, quoique pendant pluſieurs années on tienne la même maſſe d'air en expérience.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 10. repréſente deux hémi-

X. LEÇON.

ſphéres concaves de cuivre, & de 6 pouces de diamétre, dont l'un eſt garni d'un robinet, par lequel il peut s'ajuſter à la machine pneumatique : & l'autre porte un anneau au milieu de ſa convexité, pour être facilement ſuſpendu. Ces deux calottes ſe joignent en forme de globe ; & pour rendre la jonction plus facile & plus exacte, l'une des deux a ſes bords garnis d'un anneau plat dont la largeur excéde autant en dedans qu'en dehors ; on le couvre d'un cuir mouillé ſur lequel s'appliquent les bords de l'autre hémiſphére, qu'on a eû ſoin de bien dreſſer.

Tout étant ainſi diſpoſé, on fait le vuide dans cette boule creuſe, & l'on ferme le robinet pour la tenir en cet état ; lorſqu'elle eſt détachée de la machine pneumatique, on joint au robinet un crochet de métal capable de porter un poids de 60 livres, & l'on attache l'anneau à quelque point fixe.

EFFETS.

Quand ces deux hémiſphéres ainſi joints ſont ſuſpendus, comme on le

X. LEÇON.

peut voir par la *Fig.* 11. le poids de 60 livres qu'on y attache, n'eſt pas capable de les ſéparer l'un de l'autre; & quand on ouvre le robinet pour laiſſer rentrer l'air, la moindre force les déſunit.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Quand les deux hemiſphéres ſont attachés enſemble par l'évacuation de l'air, au lieu de les ôter de la machine pneumatique, il faut ſeulement déviſſer deux ou trois tours, le robinet par lequel ils ſont appliqués à la pompe, afin qu'on puiſſe faire le vuide dans un récipient dont on les couvrira. Ce vaiſſeau doit être ouvert par le haut, & garni d'une boëte de cuivre remplie de cuirs gras preſſés les uns ſur les autres, à travers deſquels on fait paſſer une tige de métal bien arrondie & bien cylindrique. Cette tige porte d'un côté un anneau par lequel on peut la faire mouvoir de bas en haut & en tournant; & à ſon autre bout on ajuſte un crochet qui s'engage dans l'anneau de la calotte ſupérieure,

Fig. 5.

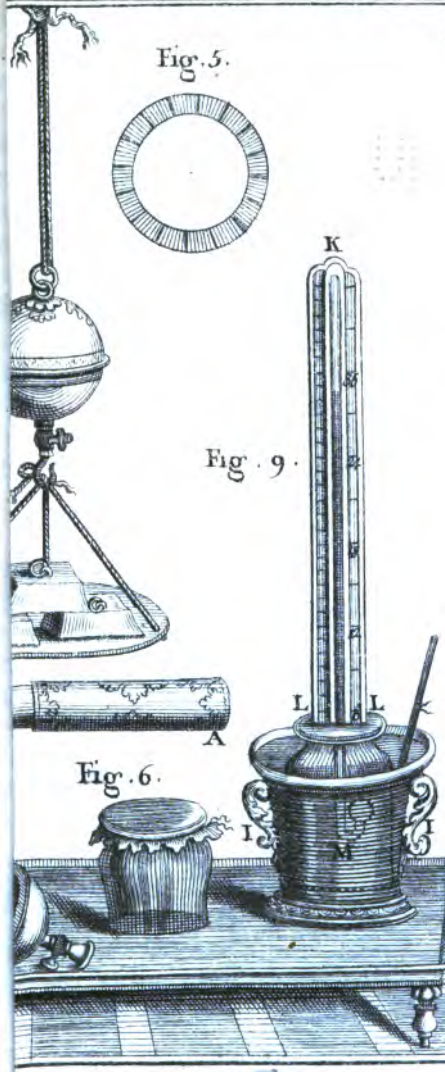


Fig. 9.

Fig. 6.

supérieure, comme il est représenté par la *Fig.* 12.

X. LEÇON.

Par le moyen de cette boëte à cuirs, lorqu'elle est bien faite, on peut transmettre toutes sortes de mouvemens dans le vuide, sans que les différens mouvemens de la tige fassent rentrer l'air, au moins d'une quantité sensible. Il est inutile de dire, qu'au lieu du crochet dont on se sert dans cette expérience, on peut ajuster au bout de la tige tout autre instrument dont on aura besoin selon les circonstances.

EFFETS.

Quand on a raréfié l'air du récipient à un certain dégré, & que l'on tire la tige de la boëte à cuirs de bas en haut, les deux hémisphères se séparent sans peine; & si l'on remet en place celui qu'on a soulevé, en faisant rentrer l'air dans le récipient, on les attache aussi fortement qu'ils l'étoient avant qu'on les plaçât dans le vuide.

EXPLICATIONS.

Les deux hémisphères ne s'attas-

X. LEÇON.

chent point ensemble tant que l'air qui s'y trouve renfermé demeure dans son état naturel, c'est-à-dire, aussi dense que celui du dehors, parce que l'effort qu'il fait pour s'étendre, & pour écarter ces deux calottes qui lui font obstacle, est précisément égal à celui de l'atmosphère qui les presse extérieurement, chacune d'elles se trouve en équilibre entre deux puissances de même valeur.

Mais quand cet air intérieur se trouve raréfié par l'action de la pompe, la force de son ressort en est d'autant affoiblie; l'équilibre est rompu, & l'adhérence des deux hémisphères est proportionnelle à la différence qu'il y a entre la densité de l'air qui presse extérieurement, & celle de l'air qui résiste en dedans; de sorte que si celui-ci pouvoit être réduit à zéro, il faudroit employer, pour séparer ces deux pièces, un effort un peu plus grand que le poids d'une colonne entiére de l'atmosphére, dont la base auroit six pouces de diamétre, ce qui feroit plus de 400 livres; en supposant seulement, selon l'évaluation commune, qu'une colonne de l'at-

mosphére fait une pression de 10 ou 11 livres sur un espace circulaire d'un pouce de diamétre.

Lorsqu'on a placé la boule vuide sous un récipient qui lui ôte toute communication avec l'atmosphére, ce n'est plus, à la vérité, le poids de cet atmosphére, qui retient les deux hémisphéres l'un contre l'autre; mais c'est la réaction d'une masse d'air comprimé précédemment par ce poids, & qui est capable des mêmes effets: c'est pourquoi ces deux piéces ne se séparent facilement, que quand on a détendu le ressort de l'air environnant, en diminuant sa densité par plusieurs coups de piston, jusqu'à ce qu'il soit autant rarefié que celui qui reste dans la boule.

Si l'air, en rentrant dans le récipient, trouve les deux hémisphéres rejoints de maniére qu'il ne puisse pas s'y introduire & s'y étendre comme dans le reste du vaisseau, il les presse de nouveau l'un contre l'autre, par la même raison qu'ils avoient été d'abord attachés, & avec autant de force, s'il y a la même différence entre les deux airs, celui du dehors & celui du dedans.

X. LEÇON.

APPLICATIONS.

C'eſt en conſéquence des principes dont on vient de voir les preuves, que le vuide ſe fait dans un vaiſſeau, par le moyen de la machine pneumatique : car en abbaiſſant le piſton d'un bout à l'autre de la pompe, on fait naître un eſpace ſans air, dans lequel celui du récipient ne manque pas de s'étendre en vertu de ſon élaſticité ; mais une maſſe d'air qui ſe partage ainſi à deux eſpaces, devient néceſſairement plus rare dans chacun des deux ; c'eſt pourquoi le poids de l'atmoſphère produit en même tems les deux effets ſuivans : 1°. il attache le récipient à la platine, comme on a vû qu'il fait tenir enſemble les deux hémiſphéres de métal : 2°. ſi l'air extérieur ne peut pas rentrer par le haut de la pompe, ce même poids de l'atmoſphére remonte le piſton en partie, c'eſt-à-dire, juſqu'à ce que l'air qui eſt dans la pompe ſoit auſſi denſe que celui de dehors.

Ce dernier effet mérite attention : bien des gens ſe dégoûtent de la machine pneumatique ſimple, par la

difficulté qu'ils trouvent à remonter le piſton : on s'épargne une grande partie de cette peine quand on fait la clef du robinet de façon que l'air puiſſe bien paſſer du dedans au dehors de la pompe, mais non pas réciproquement : car avec cette précaution, * le piſton ſe reléve comme de lui-même ; & il reſte peu de choſe à faire, ſurtout lorſqu'on approche des derniers dégrés de raréfaction.

X. LEÇON.

* *Voyez les Mémoir. de l'Académie pour l'année 1740. p. 418.*

Quant à l'adhérence du récipient à la platine, elle augmênte à meſure que l'air ſe raréfie ; & cette raréfaction, à chaque coup de piſton, ſuit le rapport des capacités. Si par exemple celle de la pompe eſt égale à celle du récipient, au premier coup, la denſité de l'air diminuë de moitié, parce que ſon volume devient double, puiſqu'il remplit deux eſpaces ſemblables à celui qu'il occupoit d'abord : au ſecond coup, il ſe raréfie encore dans la même proportion, & par conſéquent ſa denſité eſt réduite au quart, & ainſi de ſuite ; d'où il paroît qu'une machine pneumatique, quelque parfaite qu'elle puiſſe être,

X. LEÇON.

ne peut jamais évacuer parfaitement l'air du récipient, puisque la densité de cet air diminuë toujours en proportion géométrique. En un mot, pour ne point se faire une idée fausse du vuide qui se fait ainsi, on doit considérer le récipient comme étant toujours plein, mais d'un fluide dont la densité diminuë de plus en plus, jusqu'à ce que le ressort de ses parties soit autant détendu qu'il peut l'être, dans un espace où il est peu géné: je dis peu gêné, pour ne pas dire absolument qu'il ne l'est plus; car il paroît qu'il l'est encore, quand on a épuisé tous les efforts de la meilleure machine pneumatique, comme on le verra par ce qui va suivre.

Que la raréfaction de l'air, dans le récipient, soit proportionnelle au rapport qu'il y a entre la capacité de ce vaisseau & celle de la pompe; c'est un fait dont il est facile de s'assurer par l'expérience. Que l'on adapte un baromètre à un récipient, dont la capacité soit à celle de la pompe, par exemple, comme 2 à 1, & qu'on l'applique à la machine pneumatique de la maniére qu'on le voit par *la*

X. LEÇON.

Fig. 13. au premier coup de piſton, la denſité de l'air ſera diminuée d'un tiers; auſſi le mercure deſcendra d'un tiers de ſa hauteur; en partant de 27 pouces, il ſera donc à 18: au ſecond coup, l'air ſera d'un tiers encore plus rare qu'il n'étoit après le premier coup; & le mercure deſcendra auſſi du tiers de 18 pouces, c'eſt-à-dire, à 12, & toujours ainſi de la troiſiéme partie du dernier reſtant.

Ce fait étant bien conſtaté, on pourra donc trouver tout d'un coup le rapport des capacités entre un récipient quelconque, & la pompe à laquelle on l'applique; & ſi l'on connoît la grandeur abſoluë de l'une des deux, cette comparaiſon fera connoître l'autre: car 1^ment, ſi le mercure deſcend au premier coup de piſton du quart de ſa hauteur, on peut conclure en toute ſûreté, que la capacité du récipient eſt à celle de la pompe, comme 3 eſt à 1, & 2°. ſi l'on ſçait d'ailleurs que la pompe tient une pinte, on ſçaura de cette maniére que le récipient en tient trois: cette façon de jauger les vaiſſeaux, pourroit trouver des applications utiles.

X. LEÇON.

On peut auſſi, par ce moyen, eſtimer les dégrés de raréfaction de l'air; & il y a long-tems qu'on applique pour cet effet le barométre à la machine pneumatique : mais comme d'ordinaire on n'a beſoin de connoître au juſte l'état de l'air, que quand il approche des derniers dégrés de raréfaction, on peut alors ſe diſpenſer d'employer un barométre entier, qui ſeroit trop caſuel & toûjours fort embarraſſant; puiſque dans un air très-raréfié le mercure ne garde que quelques pouces ou quelques lignes de hauteur, on peut regarder le reſte du tuyau qui demeure vuide au-deſſus comme inutile, & le ſupprimer : par ce moyen on a un barométre tronqué qui n'eſt autre choſe qu'un petit ſcyphon renverſé, dont la plus longue branche que l'on emplit de mercure, eſt ſcelée hermétiquement par le haut, & que l'on attache debout ſur un petit pied de plomb avec une régle de bois mince & graduée en pouce & en lignes. *Voyez la Fig.* 14.

Mais ſoit qu'on ſe ſerve de cette eſpéce de jauge, ſoit qu'on employe

le baromètre entier, on ne voit jamais descendre le mercure parfaitement à son niveau ; il demeure toujours élevé un peu au-dessus, s'il n'y a point d'ailleurs quelques causes étrangéres *. On ne doit pas s'en prendre au poids de l'air qui reste dans le récipient : la colonne qui répond à celle du mercure est trop courte, & sa densité est trop diminuée pour avoir une pésanteur sensible ; mais il est naturel de penser que quand l'air est extrêmement raréfié, son ressort, quoique suffisant encore pour soutenir une ligne de mercure, est déja trop affoibli pour forcer les frottemens & les vapeurs grasses qui s'opposent à son passage dans le canal étroit du robinet. C'est une petite imperfection dont les machines pneumatiques les mieux faites ne sont point exemptes ; mais ce défaut ne tire point à conséquence ; & quand elles n'ont que celui-là, on peut toujours reduire la densité de l'air à $\frac{1}{300}$ de celle qu'il a quand le baromètre marque 28 pouces ; car une bonne pompe abbaisse le mercure à-peu-près à une ligne de son niveau, & 28 pouces donnent 336 lignes.

X. Leçon.

* Voyez les Mém. de l'Acad. des Sciences, pour l'année 1741. pag. 345

X. LEÇON.

Si l'on entend bien de quelle manière l'air agit, soit par son poids, soit par son ressort, on expliquera facilement une infinité de faits curieux. que l'usage des machines pneumatiques, & la facilité que l'on a acquise de faire le vuide, ont donné occasion de connoître.

Une vessie dans laquelle on enferme un peu d'air, & que l'on tient dans le vuide, ne manque pas de s'enfler, parce que ce peu d'air qu'elle contient, se raréfie lui-même, à mesure que celui qui l'environne perd de sa densité : & en pareil cas un plomb qui péseroit 12 ou 15 livres ne l'empêcheroit pas de s'enfler, parce qu'il ne feroit point équivalent à la pression de l'air qu'on fait cesser d'agir autour d'elle dans le récipient.

Par la même raison, une bouteille de verre mince & pleine d'air que l'on a bien bouchée, créve dans le vuide, parce que rien ne fait plus équilibre au ressort de l'air qu'elle contient, & qui fait un effort continuel pour se déployer.

Un œuf placé dans un gobelet se vuide par un fort petit trou que l'on

fait en sa partie inférieure, quand on raréfie l'air qui l'environne; il se remplit aussi par le même trou quand on laisse rentrer l'air dans le récipient : c'est qu'un œuf, surtout s'il est vieux, contient de l'air qui surnage dans l'endroit le plus élevé de la coque, à cause de sa légéreté : cet air s'étend & chasse devant lui la matiére propre de l'œuf, à mesure qu'on diminuë la pression de l'air extérieur avec lequel il étoit d'abord en équilibre; dès qu'on rend l'air dans le récipient, sa pression fait rentrer tout ce qui est sorti de la coque, & resserre l'air intérieur dans le premier espace qu'il occupoit.

Cette explication devient sensible, si dans une phiole pleine d'eau dont on plonge l'orifice dans un vase, on laisse une bulle d'air qui ne manque pas d'occuper la partie supérieure, & qu'on fasse passer le tout dans le vuide. *Voyez la Fig.* 15. Car à mesure qu'on raréfie l'air du récipient, on voit que la bulle s'étend de plus en plus (*a*), & qu'elle précipite l'eau

(a) Par une pareille expérience, M. Mariotte conclut que l'air, en partant de l'état

X. LEÇON.

qui eſt renfermée avec elle ; après quoi ſi l'air vient à rentrer dans le récipient, la liqueur remonte, & l'air reprend ſon premier volume au deſſus d'elle.

Une vieille pomme ſe déride dans le vuide, parce que l'air qui eſt ſous la peau s'étend & la ſoulève ; mais elle devient plus ridée qu'auparavant, quand elle ſort du vuide, parce que l'air qu'elle contenoit en ſe mettant au large, en eſt ſorti en partie, & qu'il en reſte d'autant moins, pour réſiſter à la preſſion de l'air extérieur, ce qui fait augmenter les plis de la peau.

Il ſeroit ſuperflu de rapporter ici toutes les expériences de cette eſpèce qui ont été faites, & qui feroient plutôt un ſpectacle agréable & amuſant, qu'un concours de preuves néceſſaires pour confirmer ou pour éclaircir les principes, que nous croyons avoir établis aſſez ſolidement : il ſuffit qu'on entende bien

où il eſt à la ſurface de la terre, peut remplir un eſpace 4000 fois plus grand que celui qu'il a coutume d'occuper. *De la nature de l'Air*, p. 173.

quelques-uns de ces faits ; tous les autres deviennent faciles à expliquer.

X. LEÇON.

Mais après avoir fait connoître le reſſort de l'air tendu par le poids de l'atmoſphére, & les différens degrés de raréfaction dont ce fluide eſt ſuſceptible, en partant de l'état où il eſt communément à la ſurface de la terre, il eſt à propos maintenant de faire voir combien on peut augmenter ſa denſité & ſon reſſort, lorſqu'on le ſoumet à une preſſion plus grande que celle de l'atmoſphére.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 16. repréſente un vaiſſeau de cuivre que l'on remplit d'eau environ juſqu'aux deux tiers de ſa capacité ; on y joint enſuite le canal *NO*, garni d'un robinet qui s'ajuſte à vis au vaiſſeau, & dont le bout inférieur *O*, qui eſt ouvert, deſcend à une ligne près du fond. On adapte en *N*, la petite pompe foulante *P R*, *Fig.* 17. avec laquelle on fait entrer à force beaucoup d'air ; après quoi le robinet étant fermé, on ôte la pompe pour

X. LEÇON.

visser en sa place un ajutage percé d'un ou de plusieurs trous.

La pompe prend l'air par un trou pratiqué en *P.* au-dessus duquel on éléve le piston; & ce même piston, en descendant, le force de passer par un petit trou pratiqué au fond, & sur lequel on a mis une soupape en dehors, pour empêcher que l'air ne revienne dans la pompe quand on éléve de nouveau le piston.

EFFETS.

Dès que l'on ouvre le robinet, l'eau sort du vaisseau en forme de jet, qui monte d'abord à la hauteur de 25 ou 30 pieds, & qui baisse sur la fin.

EXPLICATIONS.

La quantité d'air qu'on force d'entrer dans le vaisseau remonte d'abord à travers de l'eau, à cause de sa légéreté, & va se joindre à celui qui occupe la place *L N Q*, dont il augmente d'autant la densité : cet air ainsi comprimé a une force élastique beaucoup plus grande que le poids de l'air extérieur qui résiste à l'orifice *N* du canal. Cette force se déploye

sur la surface de l'eau, & la chasse par le canal qui est ouvert, avec d'autant plus de vîtesse qu'il y a de différence entre la densité de l'air qui est renfermé dans le vaisseau, & celle de l'air extérieur, & comme cet air qui chasse l'eau se trouve plus au large à mesure que le vaisseau se vuide, son ressort s'affoiblit de plus en plus; & par cette raison le jet en devient moins élevé vers la fin. X. LEÇON

Si l'on avoit lieu de douter que l'effet dont il s'agit ici ne vint, comme nous le disons, d'un défaut d'équilibre entre l'air du vaisseau & celui du dehors; il seroit aisé de s'en convaincre par une expérience assez jolie, & qui mérite d'être rapportée.

On peut cimenter un tuyau de verre, qui finisse en pointe à une bouteille de même matière, de sorte qu'elle soit en petit ce qu'est en grand le vaisseau de cuivre de l'expérience précédente; si l'on renverse cette bouteille dans un gobelet plein d'eau, & qu'on couvre le tout d'un récipient sur la platine d'une machine pneumatique, comme dans la *Fig.* 18, à mesure qu'on fera le vuide, on verra

X. LEÇON.

sortir de la bouteille une partie de l'air qui formera des bouillons dans l'eau du gobelet ; & ensuite lorsqu'on laissera rentrer l'air dans le récipient, sa pression poussera dans la bouteille autant d'eau qu'il en sera sorti d'air. Je ne m'arrête point à expliquer ces deux premiers effets, on doit les entendre par ce qui a été dit ci-dessus. Mais si l'on redresse la bouteille, comme dans la *Figure* 19. & qu'on raréfie de nouveau l'air du récipient, celui qui est au-dessus de l'eau venant à se raréfier lui-même, fera naître un jet qui s'élevera d'autant plus, qu'on aura rompu davantage l'équilibre entre les deux airs. Ici ce n'est pas l'air comprimé artificiellement qui force la résistance du poids de l'atmosphère, comme dans l'expérience précedente ; mais c'est le ressort naturel de ce fluide que l'on met en état d'agir, en affoiblissant celui qui lui résiste à l'orifice de la bouteille ; c'est toujours un air plus fort contre un air plus foible, en un mot, de l'eau entre deux portions d'air qui ne sont plus en équilibre.

VII. EXPERIENCE.

Fig. 18.
Fig. 19.
Fig. 12.
P
B
Fig. 17

VII. EXPÉRIENCE.

X. LEÇON.

PRÉPARATION.

La *Fig.* 20. représente une espèce d'arquebuse composée de deux canons de métal, placés l'un dans l'autre, & entre lesquels il reste un espace bien fermé où l'on condense fortement l'air par le moyen d'une petite pompe foulante qui est logée dans la crosse. Il y a deux soupapes ; sçavoir, une au bout de la pompe, pour empêcher que l'air n'y revienne, quand on tire le piston ; & l'autre au bout du canon intérieur du côté de la culasse, où l'on a soin de placer une balle de calibre. La dernière de ces soupapes se léve par le moyen d'une détente, pour laisser passer l'air dans le petit canon, & se referme très-promptement, pour n'en faire échaper qu'une partie. Comme ces sortes d'armes ne sont pas fort en usage, j'ai fait construire celle dont je me sers, de maniére qu'on ne courût aucun risque en mettant les balles, & qu'on pût les ôter de même, sans être obligé de décharger l'air ; pour cet effet,

X. LEÇON.

il y a un canal ou réservoir qui contient 12 balles, & une espèce de robinet que l'on tourne, pour les placer successivement dans la direction du petit canon, ou pour les déplacer si l'on ne veut pas tirer. Pour conserver à cet instrument toute la forme extérieure d'un fusil, on l'a garni d'une platine dont la batterie sert à tourner la clef du robinet, & le mouvement du chien fait lever la soupape.

EFFETS.

Le chien étant armé, dès qu'on le détend, la balle est chassée avec tant de force, qu'on peut l'ajuster assez bien à 70 pas dans un cercle d'un pied de diamétre.

Les derniers coups ont toujours bien moins de force que les premiers, mais communément le huitiéme perce encore une planche de chêne épaisse de 6 lignes, & placée à la distance de 20 ou 25 pas.

L'air & la balle, en sortant, font peu de bruit, sur-tout si le lieu où l'on est, n'est point fermé; ce n'est qu'un souffle violent qu'on entend à peine à 30 ou 40 pas.

EXPLICATIONS. X. LEÇON.

Après l'explication que j'ai donnée de l'expérience précédente, la seule préparation de celle-ci, doit suffire pour en faire entendre les effets : l'air condensé entre les deux canons fait effort pour en sortir ; dès qu'on lui donne son passage par le petit canon, il emporte tout ce qu'il y rencontre ; la balle reçoit donc une vîteſſe preſqu'égale à celle avec laquelle cet air commence à s'échapper. Mais comme la soupape ne demeure ouverte qu'un instant, il ne s'en échappe à chaque fois qu'autant qu'il en faut pour faire partir une balle : cependant les derniéres sont pouſſées plus foiblement, parce que le reſſort de l'air diminuë à méſure que ce qu'il en sort lui laiſſe plus de place pour s'étendre. Le bruit eſt incomparablement plus foible que celui d'une arme à feu ; parce que ni la balle, ni l'air qui la pouſſe, ne frappent jamais l'air extérieur avec autant de violence & de promptitude qu'une charge de poudre enflammée, dont l'exploſion ſe fait toujours avec

X. LEÇON.

une vîteſſe extrême. L'arquebuſe à vent ſe fait pourtant plus entendre dans un lieu fermé, que dans un endroit découvert, parce qu'alors la maſſe d'air qui eſt frappée étant appuyée & contenuë par des murailles ou autrement, fait une plus grande réſiſtance.

APPLICATIONS.

Les fuſils, piſtolets, ou cannes à vent, ſont des inſtrumens plus curieux qu'utiles; la difficulté de les conſtruire, celle de les entretenir long-tems en bon état, les rend néceſſairement plus chers, & d'un ſervice moins commode & moins sûr que les fuſils à poudre ordinaires: le ſeul avantage qu'on y pourroit trouver, je veux dire celui de frapper ſans être entendu, pourroit devenir dangereux dans la ſociété, & c'eſt une précaution fort ſage de reſtraindre le plus qu'il eſt poſſible l'uſage de ces ſortes d'inſtrumens. Ceux qui les aiment en parlent ſouvent avec enthouſiaſme, & leur font plus d'honneur qu'ils n'en méritent, en leur

attribuant des effets dont ils ne sont pas capables : il n'est point vrai, par exemple, qu'ils ayent jamais autant de force qu'une arme à feu ; & c'est une chose fort rare que les soupapes tiennent l'air assez constamment, pour les garder long-tems chargés. X. LEÇON.

Si les histoires qu'on fait de la *poudre blanche* ont quelque réalité, on doit sans doute les entendre dans le sens figuré, du fusil à vent, qui est capable de porter un coup assez meurtrier sans faire un bruit considérable ; car comme le bruit d'un fusil ne vient point de la couleur de la poudre, mais qu'il est une suite nécessaire de l'explosion subite dont elle est capable, on doit croire que toute matière qui se dilatera avec la même vîtesse, qu'elle soit blanche ou noire, éclatera de même.

Quant aux fontaines artificielles où l'eau reçoit son mouvement du ressort de l'air, on les peut varier de cent manières différentes, plus curieuses & plus agréables les unes que les autres : elles les sont d'autant plus qu'on y voit l'eau s'élever au-dessus de sa

X. LEÇON.

source, tout au contraire des jets ordinaires, qui se font, comme on sçait par une chûte d'eau, dont le réservoir est plus haut. Je me contenterai d'un seul exemple, pour ne point m'arrêter infructueusement à des choses qui se trouvent dans tous les livres de Physique.

La fontaine qui est représentée par la *Fig.* 21. porte le nom d'Hero, à qui l'on en attribuë l'invention; on la construit communément de deux bassins ou boëtes de métal que l'on joint par des tuyaux de même matiére: celle-ci est faite de verre, afin qu'on en apperçoive mieux le méchanisme: la matiére & la forme extérieure sont tout-à-fait indifférentes, on les peut varier selon son goût. Pour mettre cette fontaine en jeu, j'emplis d'eau jusqu'aux trois quarts le globe *A B*, par le canal *C D*, qui est ouvert de part & d'autre; j'en mets ensuite dans le bassin *G H*, pour tenir toujours plein le tuyau *I K*, qui est ouvert d'un bout à l'autre. Cette colonne d'eau qui tend à se répandre dans le globe inférieur, *E F*, charge de tout son poids la masse d'air dont

il est plein : cet air ainsi comprimé s'échappe par le canal *LM*, & déploye son ressort sur la surface de l'eau qui est en *AB*, & enfin cette eau pressée par le ressort de l'air, s'échappe en forme de jet par le canal *CD*, au bout duquel on met un ajutage percé, si l'on veut, de plusieurs trous pour former une gerbe d'eau.

X. LEÇON.

Il suffit de mettre d'abord un peu d'eau dans le bassin pour emplir le tuyau *IK* ; le jet qui naît aussi-tôt, fournit assez pour l'entretenir plein, & l'écoulement qui se fait ainsi du globe *AB*, retombe dans celui d'en-bas, que l'on vuide après l'opération, par une espèce de robinet qui est dessous.

On fait usage aussi du ressort de l'air comprimé, pour rendre continuel l'écoulement d'une pompe qui n'a qu'un piston : supposons, par exemple, que la pompe aspirante & foulante *nop*, *Fig.* 22. soit enveloppée d'un vaisseau cylindrique de métal, qui forme autour d'elle un espace bien fermé *QRS*, qui communique avec le tuyau montant *TV*.

Quand l'eau élevée par l'aspiration

X. LEÇON.

sous le piston sera forcée ensuite par la compression de passer par la soupape qui est en *o*, non seulement elle s'élevera dans le tuyau, mais elle montera aussi vers *QR*, dans l'espace qui est autour de la pompe, & en s'élevant ainsi elle tendra le ressort de l'air qui sera entr'elle & le fond de cette cavité. C'est pourquoi pendant qu'on remontera le piston, pour faire une nouvelle aspiration, la réaction de cette masse d'air comprimé suppléera à la pression du piston, & fera continuer l'écoulement en *V*.

Par ce moyen on gagne certainement en vîtesse; car le tuyau *TV*, fournissant de l'eau sans interruption, il en passe une plus grande quantité dans un certain tems: mais cet avantage ne s'acquiert qu'aux dépens de la force, qui doit être plus grande de la part du moteur, puisqu'il en faut non seulement pour porter le poids de l'eau qui pése en *T*, mais aussi pour comprimer l'air dont on veut tendre le ressort. Au reste il y a bien des cas où il est important de fournir de l'eau sans interruption,

&

& c'eſt pour cette raiſon que l'on conſtruit ainſi ces petites pompes portatives ſi fort en uſage en Angleterre, en Hollande, & depuis quelques années à Paris (*a*), avec leſquelles chaque particulier peut arrêter au moins le progrès d'un incendie naiſſant, en attendant des ſecours plus puiſſans. X. LEÇON.

Depuis l'invention de la machine pneumatique; on a fait une grande quantité d'expériences dans le vuide ou dans l'air raréfié à différens degrés, il étoit naturel de penſer qu'il y en avoit beaucoup à faire auſſi dans l'air condenſé au-deſſus de ce qu'il l'eſt communément, & pluſieurs Phyſiciens ont déja mis la main à l'œuvre; on ſe ſert pour ces ſortes d'épreuves, d'un vaiſſeau capable d'une grande réſiſtance, & l'on y fait entrer de l'air à force avec une petite pompe ſemblable à celle dont nous avons fait uſage ci-deſſus, pour la fontaine de compreſſion. * Mais

* *Fig.* 17.

(*a*) Le ſieur de Genſanes tient un magazin de ces pompes, pour les vendre ou pour les louer. Il demeure, rue Montmartre, près ſaint Joſeph.

X. LEÇON.

l'air qui passe ainsi par une pompe se charge de vapeurs grasses & humides; & il y a bien des cas où il seroit à souhaiter qu'il fût plus pur, afin que ce qui résulte de l'expérience ne puisse être attribué à rien autre chose qu'au degré de compression qu'on lui a fait prendre, à la densité de sa propre matière. Cette considération m'a fait imaginer une nouvelle machine, avec laquelle on pourra comprimer l'air, sans diminuer le dégré de pureté qu'il a dans l'atmosphére, ou même en l'augmentant; lorsque j'y aurai mis la dernière main, si elle en mérite la peine, j'en ferai part au public dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, à la suite des instrumens qui servent aux expériences de l'air, dont j'ai commencé la description.

Il paroît par les expériences de Boyle, qu'on peut par compression rendre le volume d'une masse d'air 13 fois plus petit qu'il n'est dans son état naturel à la surface de le terre. D'autres Philosophes ont porté depuis cette épreuve plus loin par différens procédés : celui qui paroît

avoir le plus fait à cet égard, est M. Hales, qui dit *, avoir réduit l'air à la 1837e. partie de son volume ordinaire (a); sur quoi M. Muschenbroek fait une réflexion qui paroît fort judicieuse. " L'air, par cette expérience, est devenu, dit-il, plus „ de deux fois aussi pésant que l'eau; „ ainsi comme l'eau ne peut être comprimée, il paroît de-là que les parties aëriennes doivent être d'une „ nature bien différente de celle de „ l'eau; car autrement si l'air étoit de „ même nature, on n'auroit pû le réduire qu'à un volume 800 fois plus „ petit; il auroit donc été alors précisément aussi dense que l'eau, & „ il auroit aussi résisté à toutes sortes „ de pressions avec une force égale à „ celle qu'on remarque dans l'eau. "

X. LEÇON.

* Stat. des végét. dans l'append. pag. 390.

M. Hales à cette occasion propose une espêce de jauge, propre à mesurer les hauteurs de la mer; mais comme la regle de M. Mariotte sur la condensabilité de l'air, n'est juste

(a) Il y a de l'obscurité dans le calcul de M. Hales; M. de Buffon son traducteur trouve qu'il faut corriger le résultat, en comptant 1551 au lieu de 1837.

X. LEÇON.

que dans les degrés moyens de compression, & qu'on ne sait point en quelle proportion ce fluide se comprime dans les degrés extrêmes, cette jauge ne pourroit pas avoir lieu.

M. Amontons, bien loin de révoquer en doute cette grande condensabilité de l'air, l'a supposée bien avant qu'on la connût par expérience, comme un principe par lequel on peut expliquer, selon lui, certains mouvemens intestins de notre globe; car après avoir prouvé que le ressort de l'air animé par la chaleur, est d'autant plus fort que ce fluide a plus de densité, il ne doute pas que les tremblemens de terre ne puissent être excités par des masses d'air souterrain qui se dilatent, & il fait voir que la partie inférieure d'une colonne de l'atmosphére prolongée de 18 lieuës vers le centre de la terre, auroit, à cette profondeur, une densité égale à celle du mercure *.

* *Mem. de l'Acad. 1703. pag. 191.*

Les expériences précédentes & les observations que nous y avons jointes, ont appris comment l'air change de densité, & de quelle maniére son ressort augmente ou diminuë par une

preſſion plus ou moins grande : il reſte à ſçavoir maintenant, quels effets produiſent le chaud & le froid ſur ce fluide. X. LEÇON.

Ce n'eſt point ici le lieu d'examiner quelle eſt la nature du feu, ni comment il agit ſur les corps ; ces queſtions ſeront traitées dans la ſuite de cet ouvrage avec l'étenduë qui leur convient ; nous dirons ſeulement par anticipation, & pour faciliter l'intelligence des effets que nous avons à expliquer préſentement, 1°. que le froid n'eſt, ni un être réel, ni une qualité poſitive, mais ſeulement l'état d'un corps qui eſt actuellement moins chaud qu'il ne l'a été ou qu'il ne le peut être, de ſorte qu'il n'y a rien dans la nature qui ſoit abſolument froid ; la glace, par exemple, n'eſt froide que par comparaiſon à l'eau dont elle eſt formée, ou à quelque corps plus chaud qu'elle ; c'eſt une vérité que nous développerons davantage dans la ſuite, & que nous appuyerons de toutes les preuves néceſſaires. 2°. On peut conſidérer la chaleur, comme l'effet d'une matiére extrêmement ſubtile, dont

X. LEÇON.

l'abondance ou l'action tient écartées les unes des autres les parties propres du corps qu'elle pénétre, & leur communique une partie de son mouvement.

En se représentant la chaleur sous cette idée, on concevra facilement deux effets très-remarquables qu'elle produit dans une masse d'air, & que nous allons faire connoître par des expériences. Le premier de ces effets est, qu'elle en augmente le volume, c'est-à-dire, qu'une même quantité d'air est capable d'occuper plus ou moins de place, quand elle est plus ou moins échauffée : le second effet de la chaleur sur l'air, est d'augmenter son ressort, à proportion de la pression dont il est chargé, de sorte qu'un même degré de chaleur appliqué à un même air doublement ou triplement condensé, lui donne un ressort double ou triple, comme on le verra par le détail des faits qui vont être rapportés.

VIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Parmi pluſieurs tubes de verre, tels que ceux dont on fait les barométres, il en faut choiſir un qui ait environ un pied ou 15 pouces de longueur, & qui ſoit par-tout d'un diamétre égal ; ce que l'on connoîtra facilement, en faiſant aller d'un bout à l'autre une petite colonne de mercure : car ſi elle eſt toujours de la même longueur dans tous les endroits du tube où elle ſe trouvera, c'eſt une marque que la capacité eſt égale dans toutes les parties ſemblables. Enſuite il faut ſceller hermétiquement une des extrêmités, & le placer ſur des charbons ardens, pour le faire chauffer juſqu'à rougir ; alors on le prend avec des pinces pour plonger promptement le bout qui eſt ouvert, dans du mercure bouillant, & on laiſſe le tout refroidir. *Voyez la Fig.* 23.

Pour donner un degré de refroidiſſement connu, on met pendant quelques minutes le bout qui eſt ſcellé, dans de la glace pilée, obſervant

X. LEÇON.

néanmoins que le tube soit dans une situation presque horizontale, afin que l'air qui y reste ne soit presque point comprimé par le poids du mercure qui le tient renfermé.

EFFETS.

Le tube rougi au feu, & plongé dans le mercure, s'en remplit en partie, & quand il a été quelque tems dans la glace, la portion d'air qui est contenuë entre le bout scellé & le mercure, occupe à peu-près le tiers de la longueur du tuyau.

EXPLICATIONS.

Le tuyau de verre, avant que d'être chauffé, étoit rempli d'une colonne d'air semblable à celui de l'atmosphére : les parties de cette matiére qui fait la chaleur, quelle qu'elle soit, ayant pénétré le verre, & s'étant mêlées avec l'air, ont écarté les parties propres de ce fluide, & son volume, pour cette raison, s'est augmenté considérablement ; mais comme la capacité du tuyau ne s'est point aggrandie proportionnellement, une grande partie de l'air en

est sortie, & le tube est resté plein d'un peu d'air très-raréfié, & d'une grande quantité de la matiére du feu. X. LEÇON.

Ce tube ayant été plongé dans le mercure, a commencé à se refroidir c'est-à-dire, que cette matiére étrangére qui avoit pénétré le verre pour se mêler avec l'air, s'est évaporée, ou qu'elle a perdu peu-à-peu la plus grande partie de son mouvement, ce qui a donné lieu aux parties de l'air de se rapprocher; d'autant plus que le poids de l'atmosphére appuyant sur la surface du mercure, l'a obligé d'entrer dans ce tube, & de s'y avancer, jusqu'à ce que le peu d'air qui y étoit resté, eût acquis par une diminution suffisante de son volume, assez de densité pour lui résister.

On voit donc par cette expérience, qu'une certaine quantité d'air qui a la température de la glace & qui est soumise au poids de l'atmosphére, a trois fois moins de volume qu'elle n'en a sous la même pression, mais dans une chaleur capable de faire rougir le verre; ou, ce qui est la même chose, que le volume de l'air dilaté par ce degré de chaleur est à

celui qu'il a dans le froid de la glace ;
X. LEÇON. comme 3 à 1.

Par des expériences à peu-près ſemblables, on a trouvé que le volume de l'air lorſqu'il commence à gêler, eſt à celui qu'il a dans la chaleur de l'eau bouillante, comme 2 à 3, & qu'il ſe dilate environ d'un ſeptiéme à compter depuis le froid de la glace commençante, juſqu'à nos chaleurs communes d'été, qui ſont à peu-près de 25 degrés au thermométre de M. de Reaumur.

Mais dans ces ſortes d'expériences, ſur-tout lorſqu'on chauffe l'air conſidérablement, on trouve ſouvent des différences bien conſidérables, ſuivant l'état actuel de l'air ſur lequel on opére, ou des vaiſſeaux qu'on employe, car c'eſt un fait, que l'humidité ſe joignant à l'air que l'on fait chauffer, elle occaſionne une dilatation, qui eſt quelquefois 10 ou 12 fois plus grande qu'elle ne ſeroit avec le même degré de chaleur, ſi l'on employoit un air plus ſec.

D'ailleurs, comme l'air eſt plus denſe ou plus comprimé dans un tems que dans un autre, les réſultats va-

rient aussi selon la hauteur actuelle du baromètre, qu'on ne doit pas négliger de consulter en pareil cas.

X. LEÇON.

APPLICATIONS.

C'est en dilatant l'air par une chaleur violente, que l'on fait crêver avec éclat ces petites empoules de verre minces, qu'on souffle à la lampe d'un émailleur, & qu'on scelle hermétiquement : l'effet en est plus sûr & plus grand, quand on y renferme une petite goûte d'eau, non-seulement parce que l'humidité procure une plus grande dilatation, mais aussi parce que la fraîcheur de la liqueur empêche que le verre ne s'amolliſſe au grand feu, & ne se prête sans rompre, à l'extension du fluide renfermé. Quand on met ces pétards à la bougie pour surprendre quelqu'un, on doit craindre que les éclats de verre ne sautent aux yeux, & n'incommodent ceux qui ne sont point en garde. Les châtaignes ou les marons qui crévent sous la cendre chaude, ne sont pas si dangereux, mais c'est encore un effet qui dépend de la même cause; l'air renfermé sous l'é-

X. LEÇON.

corce se dilate, & la fait créver, quand on n'a point pris la précaution de l'entâmer ; plus elle résiste, plus sa rupture est éclatante.

Prem. Sect. III. Exper. p. 27.

Dans la premiére leçon *, j'ai fait mention d'une petite cassolette de verre que j'ai supposé être en partie pleine d'une liqueur odorante ; mais je n'ai point dit alors comment on s'y prend pour emplir ce petit vase, dont le col & l'orifice sont tellement étroits, qu'il n'y a pas moyen de penser à faire usage d'un entonnoir. On vient facilement à bout de cette opération, si l'on chauffe cette petite bouteille, & qu'on plonge aussi-tôt son ouverture dans la liqueur qu'on y veut introduire ; car en dilatant l'air par la chaleur, on en fait sortir une grande partie, & ce qui reste, venant ensuite à se condenser à mêsure qu'il se refroidit, laisse un vuide où le poids de l'atmosphére porte la liqueur, comme il est arrivé à l'égard du tube qui a été employé dans l'expérience précédente.

C'est aussi de cette maniére qu'on emplit les verres des thermométres, dont les tuyaux sont ordinairement si

menus, qu'on ne pourroit jamais y faire entrer la liqueur par tout autre moyen, à moins que d'y employer beaucoup de tems. La dilatation de l'air même, ne seroit encore qu'un moyen imparfait dans ces sortes de cas où il s'agit d'emplir entiérement le vaisseau, puisqu'une très-grande chaleur ne peut faire sortir qu'environ les deux tiers de l'air; mais on y en joint un autre dont nous parlerons par la suite, & qui procure une évacuation d'air beaucoup plus complette.

A propos des thermométres, celui de Sanctorius, qui est représenté par la *Fig.* 24. produit encore ses effets en conséquence de la dilatabilité de l'air. Lorsqu'on applique la main à la boule d'en-haut, l'air qu'elle contient, & qui remplit une partie du tuyau jusqu'en *N*, s'échauffe, se dilate, & fait descendre dans le réservoir d'en-bas, une liqueur colorée, dont la marche devient sensible, & peut se mesurer par les graduations qui sont marquées sur la planche. Si l'air que l'on a échauffé se refroidit ensuite, il se condense, & la même

X. LEÇON.

liqueur pouſſée par le poids d'une colonne de l'atmoſphère qui répond en *M*, remonte vers la boule; ce qui devient remarquable, par les degrés de l'échelle qu'elle parcourt de bas en haut; nous reprendrons l'hiſtoire de cet inſtrument, lorſque nous parlerons de ceux qui ſervent à meſurer les degrés de chaud & de froid.

Comme on fait jaillir l'eau par la compreſſion de l'air, on peut de même employer ſa dilatation pour former des fontaines qui amuſent les curieux : ces principes de mouvemens auroient des applications ſans fin; mais le recueil qu'on en pourroit faire n'entre point dans le deſſein de cet ouvrage, je me borne à deux exemples par leſquels on pourra juger des autres. *A B*, *Fig.* 25. eſt un vaſe de verre étranglé & ouvert en haut & en bas, dont la patte eſt arrêtée ſur le deſſus d'une caiſſe *C D*, formée en pied-deſtal : on a cimenté en *A*, un petit tuyau *E F*, qui d'une part finit en pointe comme un ajutage, & dont l'autre bout touche à quelques lignes près, le fond du vaſe. Un autre tuyau qui aboutit en *G*, &

1
2
3
4
5
6
7
8
N
M
V
Fig. 22.
Fig. 23.
Q
R
S
T

qui eſt ouvert, paſſe dans l'étranglement *B*, où il eſt cimenté, & à travers du pied-deſtal, pour ſe joindre à une eſpéce de ballon de cuivre mince, auquel il eſt ſoudé. La caiſſe *C D*, eſt garnie de plomb par dedans ; & le deſſus qui peut ſe lever, s'attache avec des crochets.

X. LEÇON.

Le ballon de cuivre ne contient que de l'air ; le vaſe *A B*, eſt rempli d'eau, environ juſqu'aux trois quarts de ſa capacité, & l'on verſe de l'eau bouillante dans la caiſſe *C D*, par un trou qui eſt pratiqué au-deſſus, & dans lequel on place un entonnoir.

L'air du ballon étant échauffé par l'eau bouillante dans laquelle il ſe trouve plongé, ſe dilate par le canal *G* ; & preſſant par ſon reſſort la ſurface de l'eau qui eſt dans le vaſe *A B* ; il la fait ſortir en forme de jet par le petit canal *E*. Il faut que le ballon de cuivre ſoit au moins deux fois auſſi grand que le vaſe *A B* ; car, comme nous l'avons dit ci-deſſus, l'air ne ſe dilate que d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante, & l'eau ne peut pas bouillir dans la caiſſe qui contient le ballon.

X. LEÇON.

On pourra faire un petit jet semblable à celui qui est représenté par la *Fig.* 19, si, au lieu de placer la bouteille dans le vuide, on la plonge dans un bain d'eau bouillante; mais alors il est à propos que cette bouteille soit de métal, de crainte que la chaleur subite, ou la grande dilatation de l'air ne la fasse créver.

Si l'on veut faire un jet de feu, on se servira d'esprit-de-vin ou de bonne eau-de-vie, & l'on tiendra pendant quelques minutes l'orifice du vaisseau bouché avec le bout du doigt ou autrement, pour donner le tems à la liqueur de s'échauffer un peu; & avec la flamme d'une bougie on allumera le jet lorsqu'il partira. *Voyez la Fig.* 26.

On vient de voir que la chaleur augmente le volume de l'air quand il est libre de s'étendre; on apprendra par ce qui suit, que la même cause augmente son ressort, lorsque le volume est fixé par des obstacles.

IX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A B C, Fig. 27. est un tube de verre qui

X. LEÇON.

qui a un peu plus de 4 pieds de longueur, environ une ligne de diamétre intérieurement, recourbé par en bas, & terminé par une boule creuſe & mince, qui a 4 ou 5 pouces de diamétre. On y fait couler du mercure, pour emplir ſeulement la courbure *D B C*, & de maniére que l'inſtrument étant debout, cette liqueur ſoit en équilibre avec elle-même dans les deux branches, on juge bien que pour cet effet, il faut que l'air de la boule ne ſoit pas plus condenſé que celui de l'atmoſphére au moment de l'expérience. Enſuite on ajoûte du mercure dans la partie *A D* du tuyau juſqu'à ce qu'il y en ait une colonne de 28 pouces, à compter du niveau, c'eſt-à-dire, de la ligne *D C*; & l'on plonge toute la partie inférieure dans un bain d'eau bouillante, de telle ſorte que la boule en ſoit entiérement couverte.

EFFETS.

L'inſtrument étant ainſi plongé, le mercure s'éleve de 18 pouces & quelques lignes dans la branche la plus longue, ce qui fait une colonne

X. LEÇON.

d'environ 46 pouces, à compter du niveau du mercure dans la plus courte branche.

EXPLICATIONS.

Lorsqu'il n'y a du mercure que dans la courbure du tuyau, & qu'il n'est pas plus élevé dans une branche que dans l'autre; l'air de la boule est, par son ressort, en équilibre avec le poids de l'atmosphére, qu'on suppose équivalent à 28 pouces de mercure, pendant le tems de l'expérience. Les 28 pouces de mercure qu'on ajoute ensuite dans la longue branche, doublent donc cette pression, & par conséquent la densité de l'air qui est dans la boule; si cet air ainsi comprimé & plongé dans l'eau bouillante, devient capable de porter encore 18 pouces & 8 lignes de mercure, c'est une preuve que ce degré de chaleur augmente son ressort d'un tiers; car 18 pouces 8 lignes sont justement la troisiéme partie de 56, somme de la double pression dont l'air est chargé avant l'immersion.

Comme les 18 pouces & 8 lignes de mercure s'élévent dans la longue

branche aux dépens de celui qui eſt dans la plus courte, le volume de l'air échauffé augmente toujours un peu pour deux raiſons ; 1.ment. parce que le mercure qui paſſe dans l'autre branche, lui laiſſe un peu de place pour s'étendre ; 2.ment. parce que le verre ſe dilate par la chaleur, & que la capacité de la boule, devient néceſſairement un peu plus grande, comme nous le ferons voir ailleurs : c'eſt pourquoi la denſité de l'air diminuant un peu, la force de ſon reſſort augmenté par la chaleur, n'eſt pas tout-à-fait auſſi grande qu'elle le ſeroit, ſi le volume demeuroit conſtamment dans ſes bornes ; ainſi l'augmentation de la colonne de mercure au-deſſus des 28 pouces ne va jamais juſqu'à 18 pouces 8 lignes ; mais il ne s'en faut que d'une petite quantité, quand on ſe ſert d'un tuyau fort menu, par comparaiſon à la capacité de la boule.

X. Leçon.

C'eſt donc un fait inconteſtable, que la force du reſſort de l'air augmente d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante : mais quelle eſt la raiſon de ce fait, & comment arrive-t'il que

X. LEÇON.

les parties de l'air échauffé acquiérent plus de roideur ? c'est ce que l'expérience n'apprend point. On peut dire cependant, en raisonnant par des conjectures assez plausibles, que * „ l'action de la chaleur consiste, „ comme nous l'avons déja dit, en „ une infinité de petites particules „ très-agitées, qui pénétrent les „ corps. Quand elles entrent dans une „ masse d'air, elles en ouvrent & elles „ en développent les lames spirales, „ non-seulement parce que ce sont „ de nouveaux corps qui se logent „ dans leurs interstices ; mais princi- „ palement, parce que ce sont des „ corps qui se meuvent avec beau- „ coup de violence ; de-là vient „ l'augmentation de ce volume d'air. „ Que s'il est enfermé de maniére „ qu'il ne se puisse étendre, les par- „ ticules de feu qui tendent à ouvrir „ les spirales, & ne les ouvrent point, „ augmentent par conséquent leur „ force de ressort, qui resseroit, si „ elles s'ouvroient librement. Quand „ l'air est condensé, il y a plus de „ particules d'air dans un même espa- „ ce, & quand les particules de feu

* *Hist. de l'Acad. des Sciences, 1702. p. 3.*

X. LEÇON.

„ viennent à y entrer, elles exercent „ donc leur action sur un plus grand „ nombre de particules d'air ; c'est-„ à-dire, qu'elles causent ou une plus „ grande dilatation ou une plus gran-„ de augmentation de ressort. Or, „ quand l'air est chargé d'un plus „ grand poids, il est plus condensé; & „ par conséquent, s'il ne peut alors s'é-„ tendre, comme on le suppose tou-„ jours, un même dégré de chaleur „ augmente davantage son ressort. "

APPLICATIONS.

En procédant comme dans l'expérience précédente, on observe que l'augmentation causée au ressort de l'air par la chaleur de l'eau bouillante, est égale au tiers du poids dont l'air est alors chargé ; si l'expérience est faite dans le printems ou dans l'automne, c'est-à-dire, dans un tems qui tienne à-peu-près le milieu entre le grand chaud & le grand froid. Ainsi l'air que nous respirons, toujours chargé d'un poids égal à celui de 28 pouces de mercure à-peu-près, étant échauffé par de l'eau bouillante, augmenteroit la force de son ressort

X. LEÇON.

de 9 pouces 4 lignes. Un air condensé au double, l'augmenteroit de 18 pouces 8 lignes, qui sont le tiers de 56. Réciproquement un air toujours dans le même état de condensation augmentera différemment son ressort, selon les différens degrés de chaleur.

M. Amontons à qui l'on doit cette découverte, en a fait lui-même une application utile, en construisant sur ce principe un thermométre d'air * qui me paroît avoir été le premier (a) où les degrés de chaleur se rapportassent à un terme connu : car avant lui ces sortes d'instrumens n'apprenoient rien, sinon qu'il faisoit plus froid ou plus chaud que dans un autre lieu, dans un autre tems où on les avoit observés : les thermométres comparables ont pris naissance entre ses mains ; s'il ne les a point portés au dégré de perfection où ils sont aujourd'hui, on lui a du moins l'obligation de nous avoir mis sur la voye.

* *Mem. de l'Acad. des Sciences*, 1702. *pag.* 161.

(a) On trouve dans les Transact. Philosop. n. 197. année 1693. un mém. de M. Halley, qui a pour objet de faire un thermométre comparable en tous lieux & sans modéle.

X. LEÇON.

Un poelle allumé dans une chambre, ne manque pas d'en raréfier l'air, parce que cet air n'eſt pas tellement renfermé, qu'il ne communique un peu avec celui du dehors, par des petits paſſages qui ſe trouvent toujours à la porte ou aux fenêtres, & qui lui laiſſent la liberté de s'étendre; mais l'air quoiqu'ainſi raréfié & moins denſe que l'atmoſphére, ſe tient pourtant en équilibre avec elle, parce qu'en s'échauffant il acquiert un degré de reſſort qui le met en état d'en ſoutenir la preſſion; la même cauſe qui diminuë ſa denſité, augmente d'autant ſon reſſort, & l'un ſupplée à l'autre.

Il n'en eſt pas de même lorſqu'on fait du feu dans une cheminée; l'air s'y raréfie, ſans que ſon reſſort augmente, parce qu'il peut s'étendre facilement; auſſi-tôt l'équilibre ceſſe entre les deux colonnes de l'atmoſphére qui répondent aux deux extrêmités du tuyau; celle qui péſe par en bas ayant toute ſa denſité, l'emporte ſur l'autre qui eſt en partie raréfiée, & il ſe fait un courant d'air de bas en haut: voilà au moins ce qui arrive

X. LEÇON.

pour l'ordinaire ; nous aurons peut-être occasion d'examiner ailleurs, quelles sont les causes qui peuvent empêcher cet effet, & déterminer l'air à descendre par la cheminée.

De tous les usages que nous faisons de l'air, il n'en est point de plus fréquent, de plus remarquable, de plus nécessaire, que celui qu'on nomme *respirer*. Environ 50 fois dans chaque minute, la poitrine s'éleve & s'abbaisse, & par ce mouvement alternatif assez semblable à celui d'un soufflet qui est en jeu, elle se rétrécit & se dilate : en se dilatant, elle reçoit l'air extérieur, qui pressé par le poids de l'atmosphére passe dans les vésicules des poulmons ; lorsque la poitrine s'abbaisse ensuite, l'air qui ne peut plus y être contenu, passe au dehors & emporte avec lui les vapeurs dont il s'est chargé ; la premiére de ces deux actions se nomme *inspiration*, la derniére s'appelle *expiration*, & l'une & l'autre sont tellement nécessaires pour la conservation de la vie, qu'il n'y a aucun animal qui ne périsse infailliblement quand on lui interdit ce double mouvement, ou qu'on le

prive d'un air capable de l'entretenir, comme on le verra dans les expériences suivantes.

X. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On couvre d'un grand récipient un pigeon ou quelqu'autre oiseau que l'on place sur la platine d'une machine pneumatique, & l'on donne plusieurs coups de piston pour raréfier l'air peu-à-peu. *Fig.* 28.

EFFETS.

Quand la densité de l'air est diminuée à-peu-près de moitié dans le récipient, l'oiseau tombe en convulsion; assez souvent il se vuide par le bec, ou par la voye ordinaire des excrémens: & si l'on continuë de faire le vuide plus parfaitement, ou qu'on le laisse seulement quelques minutes en cet état, il périt sans retour; mais lorsqu'on lui rend l'air promptement, il se rétablit en peu de tems: ce rètablissement, à dire vrai, n'est pas pour l'ordinaire, de longue durée; je n'ai guères vû d'oi-

X. LEÇON.

seaux, ni même d'autres animaux, qui ayent beaucoup survécu à cette épreuve.

XI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un grand vase de verre presque plein d'eau, on met un petit poisson vivant, & l'on couvre le tout d'un grand récipient sur la machine pneumatique. *Fig.* 29.

EFFETS.

A mesure qu'on fait le vuide dans le récipient, on voit sortir des bulles d'air de dessous les écailles du poisson, par ses ouies & par sa bouche. L'animal se tient à la surface de l'eau sans pouvoir aller au fond; il y meurt enfin, mais ce n'est qu'après plusieurs heures d'épreuve: & quand on fait rentrer l'air dans le récipient, soit avant soit après sa mort, il retombe au fond du vase, & ne peut jamais remonter à la surface de l'eau.

EXPLICATIONS.

La vie animale, comme on sçait

consiste principalement dans le mouvement du cœur & dans la circulation du sang. Or si l'on en croit les plus habiles Anatomistes, & si l'on en juge par leurs observations & par leurs expériences, la respiration entretient l'un & l'autre; soit parce que l'air qui est poussé dans les poulmons par le poids de l'atmosphére, sert d'antagonistes aux muscles que la nature employe pour l'inspiration, & que pressant les vaisseaux où le sang a été porté par la contraction du cœur, il le détermine à refluer vers cette source, pour aller ensuite aux autres parties du corps; soit parce que l'air divisé & filtré, pour ainsi dire, se mêle avec le sang & circule avec lui en l'animant par son ressort *: l'animal qui ne peut pas respirer, ne peut donc pas continuer de vivre.

X. LEÇON.

*M. Mery Mém. de l'Acad. des Sciences 1709. pag. 211.

L'oiseau que l'on a placé dans un air considérablement raréfié, ne respire plus, parce que cet air ne participe plus au poids de l'atmosphére, dont il est séparé, & que son ressort, comme sa densité, est beaucoup diminué. C'est en vain que la poitrine se dilate, le fluide qui a coûtume de

X. LEÇON.

s'y introduire n'en a plus la force ; ainsi le mouvement alternatif que l'on nomme respiration, ne peut plus avoir lieu, puisque des deux puissances qui le produisent, on en supprime, ou on en affoiblit une, qui est le poids ou le ressort de l'air.

Une autre cause qui fait périr un animal dans le vuide, c'est que l'air qu'il a dans les différentes capacités & dans les fluides mêmes de son corps, se raréfie fortement, lorsqu'il n'est plus contenu par la pression de l'air extérieur ; car toutes ces portions d'air dilaté, acquérant un volume beaucoup plus grand que celui qu'elles ont dans l'état naturel, compriment & rompent souvent les parties où elles se trouvent engagées, ou bien elles font des obstructions dans les vaisseaux, & arrêtent le cours des humeurs. C'est pour cela sans doute que les animaux ont ordinairement des nausées, ou qu'ils se vuident lorsqu'on les applique à ces sortes d'épreuves ; car l'air des intestins ou de l'estomac venant à s'étendre, chasse devant lui les alimens non digérés, ou les excrémens qui lui ferment le passage.

On ne peut pas douter qu'il n'y ait de l'air dans le corps des animaux, & même de ceux que la nature a destinés à vivre dans l'eau, puisqu'on le voit sortir du poisson à mesure qu'on fait le vuide dans le récipient. Il y a toute apparence que les aquatiques & les amphibies respirent différemment des autres animaux qui vivent continuellement dans l'air, puisque la privation de cet élément, ne les fait pas mourir aussi promptement; mais on doit croire que ce qui accélére le plus leur perte dans le vuide, c'est l'air intérieur qui se dilate & qui met tout en désordre. Cette double vésicule qu'on trouve dans les carpes & dans la plûpart des autres poissons, se distend en pareil cas & fait enfler le corps de l'animal; c'est pourquoi tant qu'il est dans le vuide, il surnage malgré lui, étant plus léger alors que le volume d'eau auquel il répond: mais il devient plus petit & se précipite involontairement, quand on fait rentrer l'air dans le récipient; parce que la vésicule en se dilatant s'est vuidée en partie, & que le reste de l'air qu'elle contient,

X. LEÇON.

X. LEÇON.

lorsqu'il reprend une densité égale à celle de l'atmosphère, n'est plus capable de la remplir, comme il est facile de s'en assûrer en ouvrant le corps du poisson.

APPLICATIONS.

Par l'explication que je viens de donner des deux expériences précédentes, on voit que les animaux placés dans le vuide y périssent par deux raisons principales: premiérement, par défaut de respiration: secondement, par la dilatation de l'air qui se trouve renfermé dans leurs corps. Comme les genres & les espèces diffèrent non-seulement par la figure & par les mœurs, mais encore par la conformation, le nombre & la grandeur des parties internes, il est vraisemblable que tout ce qui respire, ne respire point de la même façon; que dans certains animaux la respiration doit être abondante & fréquente; & que dans d'autres au contraire elle peut se faire plus lentement & avec un air plus rare, au moins pour un certain tems. Voilà, sans doute, pourquoi de tant d'animaux d'espè-

X. LEÇON.

ces différentes, éprouvés dans le vuide par Boyle, l'Académie de Florence, Derham, Muſchenbroek, & tant d'autres Phyſiciens, les uns meurent dans l'eſpace de 30 ou de 40 ſecondes, comme preſque tous les oiſeaux, les chiens, les chats, les lapins, les ſouris, &c. pendant que d'autres ſoutiennent un vuide de pluſieurs heures, comme les poiſſons, la plûpart des reptiles, & nommément la grenouille, qui reſiſte quelquefois à cette épreuve pendant un jour entier ſans mourir. Car puiſque ces derniers animaux vivent commodément dans l'eau, on ne peut pas dire qu'ils ayent beſoin de reſpirer à la maniére des animaux terreſtres; & peut être ſoutiendroient-ils le vuide plus long-tems qu'ils ne font, s'ils n'avoient à y ſouffrir qu'une ſimple privation d'air, & ſi celui qu'ils ont au-dedans du corps ne dérangeoit rien à l'œconomie des parties, par ſa grande dilatation. Ce qui me porte à penſer ainſi, c'eſt qu'on les voit s'enfler conſidérablement, & qu'après la mort, on leur trouve toujours les poulmons flaſques & plus péſans que l'eau.

X. LEÇON.

Une autre raiſon qu'on pourroit alléguer encore en faveur de cette opinion, c'eſt que preſque tous les inſectes, ceux-mêmes qui vivent en plein air, les papillons, les mouches, les ſcarabées ſouffrent, ſans périr, une privation d'air qui va quelquefois à pluſieurs jours, ſans doute parce que n'ayant dans le corps que de très-petits volumes d'air qui ſe dilatent peu, le vuide ne peut leur être mortel, que par le ſeul défaut de reſpiration; & ces petits animaux vraiſemblablement peuvent être long-tems ſans reſpirer, au moins l'air groſſier.

Convenons cependant que l'état naturel de tous ces animaux, eſt de pouvoir prendre l'air, & que c'eſt leur faire violence que de les en priver. On voit le poiſſon s'élancer de lui-même à la ſurface des étangs, pour en prendre de nouveau & pour rejetter celui qu'il a pris précédemment. Les Naturaliſtes conviennent qu'il ſçait filtrer & s'approprier celui qui eſt diſſéminé dans l'eau; & quand il meurt ſous la glace, on a raiſon de croire que c'eſt parce que l'air lui a manqué, puiſqu'on évite cet accident

X. LEÇON.

quand on a soin de rompre les glaçons. Enfin le poisson vit beaucoup plus long-tems dans l'air & sans eau, qu'il ne peut faire en pleine eau s'il manque d'air.

En conséquence de ce dernier fait qui est incontestable, en voici un autre que je trouve dans de bons Auteurs, & que j'ai appris moi-même en Hollande & en Angleterre, de plusieurs personnes que je ne puis pas soupçonner d'avoir voulu m'en imposer. On suspend, dit-on, des carpes dans des petits filets sur de la mousse humide & dans un lieu frais; & pendant deux ou trois semaines on les engraisse avec de la mie de pain trempée dans du lait. S'il n'y a rien à rabbattre de ce récit (a), il est évident que l'air est plus nécessaire que l'eau au poisson même, & qu'on peut mettre ce principe à profit.

(a) J'ai tenté deux fois cette expérience sans succès; mais je n'en ai pû rien conclure de certain, parce que les carpes que j'ai employées, avoient été fatiguées par un assez long transport, ou assez mal-traitées depuis qu'elles étoient sorties de l'eau. Je n'ai jamais pû leur faire rien avaler: elles sont mortes en moins de vingt-quatre heures.

X. LEÇON.

Quelques Auteurs ont obſervé, que les chiens, les chats, les lapins, &c. nouveaux-nés, ne meurent pas dans le vuide auſſi promptement que les adultes des mêmes eſpêces; c'eſt que la reſpiration eſt d'une néceſſité plus preſſante pour ceux-ci que pour les premiers. Pour en ſentir la différence, il faut ſçavoir, qu'avant la naiſſance, il n'y a qu'une circulation pour la mere & pour le fœtus. Dans celui-ci qui ne reſpire point encore, le ſang va de l'oreillette droite à l'oreillete gauche du cœur, par une communication que les Anatomiſtes ont nommé *le trou ovale*, & ſans être obligé de paſſer par le poulmon, où l'air extérieur n'a point d'accès; mais après la naiſſance, ce paſſage ſe ferme peu-à-peu, & la reſpiration devient néceſſaire, pour enfler les véſicules du poulmon, & pour faire circuler le ſang dans le nouvel animal ſéparé de ſa mere, de la même façon que la reſpiration de celle-ci le faiſoit circuler précédemment dans l'un & dans l'autre. C'eſt pourquoi l'on reconnoît communément ſi un enfant eſt mort avant que de naître, ou s'il a reſpiré

avant que de mourir, en mettant son poulmon dans l'eau ; car s'il surnage, c'est une marque qu'il y a de l'air, & que l'enfant a respiré, ce qu'il n'a pû faire qu'après sa naissance. C'est une épreuve que la Justice mettoit en usage, lorsqu'il s'agissoit de juger une mere qui étoit accusée d'avoir tué son enfant, & qui se défendoit de ce crime, en soutenant qu'il étoit venu mort au monde. Mais on a observé depuis, qu'en certains cas le poulmon d'un fœtus peut surnager, & que celui d'un enfant nouveau-né peut aller au fond de l'eau ; ce qui rend cette expérience insuffisante pour établir un jugement de cette importance. X. LEÇON.

Plusieurs Anatomistes* prétendent avoir trouvé le trou ovale encore ouvert dans des adultes. Cette observation, qui n'est presque (a) point contestée, peut expliquer certains faits dont le récit révolte les esprits

* *Hist. de l'Académie des Scienc. 1700. pag. 40.*

(a) Cheselden célébre Anatomiste de Londres, prétend que tous ceux qui ont cru voir le trou ovale dans les adultes, se sont trompés en prenant pour ce trou l'ouverture des veines coronaires. *Derham. Theol. Phys. liv. 4. chap. 7. rem. 15.*

X. LEÇON.

les plus crédules. Telle est l'histoire du Jardinier (*b*) de Troningholm en Suéde, qu'on dit avoir été 16 heures perdu dans l'eau & sous la glace, sans avoir été noyé ; telle est celle d'un certain Laurent Jonas qui y resta, dit-on, sept semaines sans mourir : l'une & l'autre sont rapportées par Pecklin * sur des témoignages qui paroissent authentiques. Je sens par moi-même qu'on aura bien de la peine à s'y rendre ; mais pourtant, s'il est vrai qu'on puisse vivre autant que le sang peut circuler, que la circulation se fasse librement sans respirer l'air, dans ceux qui ont le trou ovale encore ouvert, & que ce trou ait été observé dans des adultes, seroit-il impossible qu'il se rencontrât de ces faits extraordinaires ?

* *De aëris & alim. conf. c.* 10.

On croira plus facilement ce que l'on raconte de plusieurs personnes qui ont été étranglées par ordre de la

(*b*) Une personne du pays, distinguée par sa naissance ; & par un goût décidé pour les Sciences, m'a assuré que ce fait passe constamment pour vrai en Suede ; mais que c'est à Stromsholm, séjour ordinaire de la Cour, & non à Troningholm, qu'il est arrivé.

X. Leçon.

Justice, ou autrement, & qui ont été trouvées vivantes, après avoir été détachées de la potence; ces exemples se rencontrent plus fréquemment, & plusieurs sont suffisamment attestés. Cependant il paroît qu'il y a plus de causes de mort dans les pendus que dans les noyés; la ligature du col qui contraint les vaisseaux, les efforts qui se font sur cette partie, tant par le poids du corps que par celui qu'on y ajoute, les coups & les différens mouvemens que l'exécuteur employe pour hâter le supplice: si malgré tout cela il se trouve encore de tems en tems quelques-uns de ces malheureux qui reprennent vie (a), je serois tenté de croire qu'on pourroit sauver beaucoup de noyés, qui ont été peu de tems dans l'eau que l'on juge morts sur des si-

(a) Ces sortes de suppliciés échappent à la mort, ou parce que l'étranglement a trop peu duré, pour éteindre entierement en eux le principe de la vie, ou parce que la corde, au lieu de serrer les anneaux de la trachée, a porté son effort sur le cartilage *Scutiforme*, qu'on nomme vulgairement le nœud de la gorge, & qui est capable d'une très-grande résistance dans certains sujets; au moyen de quoi la respiration n'a point été entierement interrompue.

X. LEÇON.

gnes assez souvent équivoques, ou que l'on achéve de faire périr par des secours mal entendus. J'appelle secours mal entendus, de les tenir suspendus, la tête en bas, & souvent dans un air froid; il seroit mieux d'essayer à ranimer le sang par une chaleur douce, par des liqueurs spiritueuses, par des frictions, & de les tenir dans une situation naturelle & commode; car ils ont avalé peu d'eau, & ce qu'ils en ont dans l'estomac n'est pas le mal le plus pressant ou le plus réel.

Si la respiration manque aux animaux dans le vuide, ou dans un air considérablement raréfié, elle devient pénible aussi dans un air condensé au-delà de son état ordinaire. MM. Derham & Muschenbroek ont mis des oiseaux & des poissons dans un air deux ou trois fois plus condensé qu'il ne l'est communément par le poids de l'atmosphére, & ces animaux pour la plûpart y ont péri en 5 ou 6 heures: on ne doit pas douter qu'on ne leur ait fait violence, en rompant ainsi l'équilibre entre l'air intérieur de leur corps, & celui qui

les environnoit ; & qu'ils n'euſſent eû beaucoup plus à ſouffrir encore, s'ils euſſent été mis dans un air exceſſivement comprimé. Mais on ne croira pas qu'une double ou une triple condenſation ait été la principale cauſe de leur mort, lorſqu'on ſçaura, que des animaux des mêmes eſpêces ne vivent guéres plus long-tems dans un air qui a la denſité & la température de l'atmoſphére, s'il lui manque ſeulement d'être renouvellé.

X. LEÇON.

C'eſt un fait conſtaté par l'expérience, & que les Phyſiciens expliquent de diverſes façons. Les uns prétendent (& c'eſt le plus grand nombre) que l'air qui a été reſpiré, eſt chargé des vapeurs & des exhalaiſons, dont il a purgé le ſang ; & qu'il ne peut plus être reſpiré en cet état, ſans cauſer une ſurabondance de ces parties nuiſibles qui arrêtent la circulation, & qui ſuffoquent l'animal. Les autres penſant avec raiſon que l'air n'eſt propre à la reſpiration qu'autant qu'il eſt élaſtique, croyent qu'il perd une grande partie de ſon reſſort, par le ſéjour qu'il fait dans

X. LEÇON.

les poulmons, ou dans les vaisseaux sanguins; & qu'ainsi, pour le respirer sainement, il faut, ou qu'il se renouvelle, ou qu'il soit purgé des parties hétérogênes dont il paroît visiblement chargé au moment de l'expiration. On peut consulter à ce sujet tout ce qui est rapporté par M. Hales dans sa *Statique des végétaux*, *c. 6. Exp.* 107. *& suiv.* où l'on trouvera des observations fort curieuses.

Quoi qu'il en soit, c'est agir prudemment que de ne se point exposer dans un air que l'on soupçonne d'être infecté d'une grande quantité d'exhalaisons, sur-tout de celles qui sont sulfureuses. Les cloaques qui ont été long-tems fermés, les souterrains qui avoisinent les miniéres, les lieux clos où l'on a tenu du charbon allumé, les celliers mêmes dans lesquels fermentent les vins nouveaux où la bierre, sont extrêmement dangereux *. On en peut juger par cette fameuse grotte d'Italie, dans laquelle un chien, ou tout autre animal, ne peut demeurer une minute sans être suffoqué; par cet accident aussi funeste que mémorable *, arrivé à Chartres dans la cave d'un

* *Camerarius, in Epist. Taurinensibus.*

* *Hist. de l'Academie des Scienc. 1710. p. 17.*

d'un boulanger, où ſept perſonnes furent étouffées ſubitement l'une après l'autre, par la vapeur de la braiſe; enfin par quantité d'ouvriers qu'on ſçait avoir péri de cette maniére, ſoit en fouïllant des foſſes, ſoit en nettoyant de vieux puits. L'uſage des poëles même peut être pernicieux, ſur-tout dans les commencemens, lorſqu'ils ſont de fer ou de cuivre, & qu'on les chauffe fortement; ce dernier métal ſur-tout peut jetter dans l'air des exhalaiſons très-nuiſibles. X. LEÇON.

Non-ſeulement on doit éviter cet air empoiſonné, dont les effets ſont ſi prompts; mais la prudence pourroit aller juſqu'à purifier, ou renouveller au moins, celui qu'on eſt obligé de reſpirer. Pourquoi, par exemple, ne prendroit-on pas cette peine pour des vaiſſeaux, pour des ſales de ſpectacles, pour des mines, pour des Hôpitaux? Pluſieurs Phyſiciens fort habiles * en ont fourni les moyens, & les épreuves en ont été faites avec ſuccès. Je crois même que des perſonnes qui reſtent 9 ou 10 heures au lit, devroient avoir l'attention de n'y être point enve-

* Deſaguilliers Tranſact. Philoſ. n. 407. Hales, deſcript. du Ventilateur par le moyen duquel, &c. traduit en François par M. Demours.

X. LEÇON.

loppées de rideaux fort épais, & qui se ferment fort exactement; car il n'eſt pas ſain de demeurer ſi long-tems dans une petite maſſe d'air qui ne ſe renouvelle point aſſez, & dont la pureté ne ſçauroit manquer d'être fort alterée, par la tranſpiration inſenſible & par la reſpiration.

Si l'on pouvoit purifier l'air avec autant de facilité qu'on le peut renouveller, il n'eſt pas douteux qu'on ne le dût faire avec ſoin dans bien des occaſions; & nous ſerions trop heureux, s'il ne s'agiſſoit que d'en faire connoître l'utilité. Jugeons de notre élément, comme nous le faiſons de celui des poiſſons; ſi l'eau d'un vivier ou d'un étang devient infecte, ne voit-on pas languir le poiſſon? & la mortalité ne s'y met-elle pas en peu de tems? A quoi devons-nous attribuer les maladies épidémiques, dont les ſymptômes ſont les mêmes dans des ſujets qui vivent tout différemment les uns des autres, dans un enfant, dans un adulte, dans un Prince, dans un Payſan, &c. eſt-ce à la nourriture, au genre de vie, à l'âge, au tempéramment? n'eſt-ce pas plu-

tôt aux qualités actuelles de l'air qu'ils respirent tous en commun ? ne voit-on pas ces sortes de contagions se communiquer souvent, ou se dissiper par les vents, ou par d'autres changemens qui arrivent dans l'atmosphére ?

X. LEÇON.

Boyle * fait mention d'une liqueur très-volatile, dont Drebell se servoit pour purifier l'air dans une espèce de vaisseau qu'il avoit imaginé pour aller entre deux eaux ; (car on sçavoit déja, qu'un air qui avoit été respiré, devenoit, en peu de tems, incapable de l'être davantage :), on trouve des Auteurs * qui disent avoir vû le vaisseau, qui l'ont même imité avec peu de succès, & dont le témoignage ne nous fait point regretter cette invention. Mais pour la liqueur, qui mériteroit bien des éloges, & dont on pourroit tirer de grands avantages, si le secret n'en étoit point mort avec son auteur, personne ne dit l'avoir vûë, & je crois qu'il est très-permis de douter au moins de cette merveille.

* Exp. physico-mechan. Exp. 41.

* Papin. Recueil de diverses piéces, &c. édit. 1695.

Si l'on peut se flatter de purger l'air, je pense qu'on n'y parviendra

X. LEÇON.

que par une sorte de filtration, en l'obligeant de passer par quelque matiére, où il puisse déposer ce qu'il contient d'étranger : mais il faut pour cet effet que ce dont on veut le dépouiller, soit de nature à s'attacher plus fortement au filtre qu'aux parties de l'air ; la connoissance de cette analogie doit être le fruit d'un grand nombre d'expériences délicates, & d'observations bien méditées ; mais l'objet est important, & plusieurs habiles maîtres * ont déja fait à cet égard quelques essais qui flattent nos espérances : c'est en cédant à cette considération, que j'ai hazardé de proposer un instrument pour laver l'air, & pour recueillir les matiéres dont il peut être chargé. *Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année* 1741. *p.* 335. *& suiv.*

* *Hales, Statiq. des végét. chap. 6 exp.* 116. *Muschenbroek orat. de meth. inst. Exp. Phys. p.* 28.

Il y auroit encore bien des choses à dire des propriétés de l'air, & de ses usages par rapport à la respiration, & à la maniére dont il influë sur la vie des animaux ; mais ces détails, quelqu'intéressans qu'ils soient, ne peuvent avoir lieu que dans un traité, où l'on auroit entrepris de faire en-

trer tout ce qui eſt connu touchant ce fluide : les bornes que je me ſuis preſcrites dans ces Leçons, ne me permettant pas de m'étendre davantage ſur cette partie, je paſſe à une autre propriété de l'air, qui eſt encore fort importante, par les applications qu'on en peut faire. Je vais prouver par des faits, que les matiéres les plus combuſtibles ne peuvent s'enflammer que dans un air libre ; & que quand elles le ſont, elles s'éteignent promptement dans le vuide.

XII. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

Il faut placer ſur la platine d'une machine pneumatique, & ſous un grand récipient, une groſſe chandelle bien allumée, *Fig.* 30. & faire agir la pompe.

EFFETS.

A meſure qu'on raréfie l'air, la flamme diminuë de volume, & aprés quelques coups de piſton, elle s'éteint tout-à-fait.

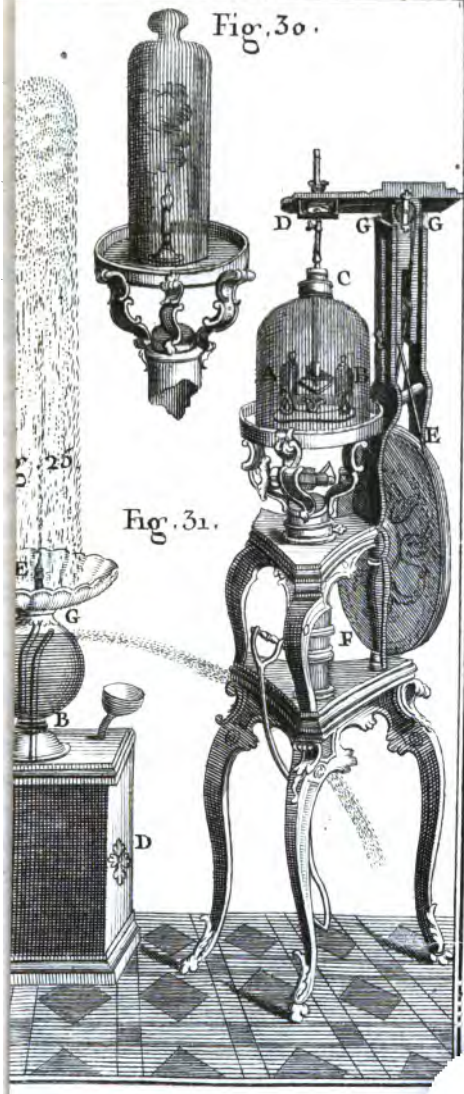
X. LEÇON.

XIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A, *B*, *Fig.* 31. ſont deux pierres à fuſil portées par deux petits montans à reſſort, qui ſont établis ſur la platine d'une machine pneumatique, par le moyen d'un petit chaſſis de métal, qui eſt fixé au centre, & dans lequel ils gliſſent pour approcher plus ou moins l'un de l'autre ; *C* eſt une de ces boëtes à cuirs, dont nous avons parlé ci-deſſus, & dont la tige eſt engagée d'une part dans l'axe de la poulie *D*, & porte à ſon autre extrémité, & entre les deux pierres, une rondelle d'acier trempé, imparfaitement arrondie. Lorſqu'on fait tourner la grande rouë *E F*, le mouvement ſe communique par les poulies de renvoi *G*, *G*, *D*, juſqu'en *C*, & ſe tranſmet par la tige dans le récipient ; & la rondelle d'acier frottant alors rudement contre les deux pierres qui ſont tranchantes, fait l'office d'un véritable briquet.

Fig. 30.



EFFETS. X. LEÇON.

Tant que l'air du récipient eſt dans ſon état naturel, le frottement de l'acier contre les pierres fait naître un grand nombre d'étincelles très-brillantes: à meſure que l'air ſe raréfie par l'action de la pompe, ces étincelles deviennent moins nombreuſes & moins éclatantes; lorſque l'air arrive à ſes derniers dégrés de raréfaction, à peine en apperçoit-on quelques-unes, qui n'ont plus alors qu'une couleur rouge & morne *c* enfin, quand le vuide eſt auſſi parfait qu'il peut l'être, il n'en paroît plus aucune; mais elles recommencent à paroître auſſi-tôt que l'on a rendu l'air dans le récipient.

XIV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un grand récipient, *Fig.* 32. garni comme le précédent d'une boëte à cuirs, on établit de la même maniére que les pierres à fuſil, un petit chaſſis de métal, dans lequel ſe meut ſur deux pivots la petite phiole

X. LEÇON.

de verre *H* ; on met dans ce petit vaisseau quelques grains de poudre à canon ; & au centre de la platine, sur un morceau de tuile ou de brique, un vase fort épais du cuivre rouge *K*, que l'on a fait chauffer jusqu'à rougir : on fait le vuide promptement ; & lorsque l'air est extrêmement raréfié, en abaissant la tige *I*, on appuye sur le goulot de la phiole qui s'incline, & qui jette la poudre dans le vase ardent.

EFFETS.

La poudre, au lieu de s'enflammer & de faire son explosion ordinaire, se dissipe en fumée & sans éclat ; ou bien, il ne paroît tout au plus qu'une petite flamme bleuë & rampante.

EXPLICATION.

C'est une opinion reçûë en Physique, que la flamme consiste dans un mouvement de vibration imprimé aux parties du corps combustible, qui se dissipent sous la forme d'un fluide extrêmement subtile. Si l'on admet cette supposition, que nous examinerons, lorsque nous traiterons de la nature

nature du feu; on conçoit assez aisément pourquoi les corps ne s'enflamment point dans le vuide, & pourquoi la flamme s'y éteint; car un mouvement de vibration ne peut durer que dans un milieu à ressort, capable d'une réaction qui l'entretienne: ainsi la chandelle s'éteint peu-à-peu, à mesure qu'on raréfie l'air du récipient, parce que le ressort du fluide environnant diminuë comme sa densité, & que les vibrations de la flamme n'éprouvent plus assez de réaction de sa part. Par la même raison, la poudre que l'on fait tomber sur du métail ardent, ne produit que de la fumée dans le vuide, ou tout au plus une flamme très-foible, qui périt dans l'instant.

X. LEÇON.

Il est à propos d'avertir cependant, que cette derniére épreuve ne doit se faire qu'avec quelques grains de poudre seulement, comme on l'a marqué dans l'article de la préparation; car le soufre & le salpêtre brûlés produisent de l'air dans le récipient, & si l'on en employoit une certaine quantité, ce qui tomberoit à la fin dans le vase ardent, seroit infailliblement enflâ-

mé, & pourroit éclater avec danger.

X. LEÇON. Les étincelles qui naissent du choc de l'acier contre des cailloux tranchans, sont des particules du métal qui se détachent de la masse par la violence du coup, qui s'échauffent jusqu'à rougir, & le plus souvent jusqu'à se fondre; c'est ce dont il est facile de se convaincre, en les recevant sur un papier blanc que l'on examine ensuite avec un microscope; car tous ces petits morceaux d'acier paroissent comme autant de petites boules fort lisses, ce qui dénote visiblement, qu'ils ont été mis en fusion, & qu'ils se sont arrondis, comme toutes les matières liquides qui nagent en petite quantité dans un milieu fluide.

On peut remarquer que plusieurs de ces étincelles éclatent en l'air, & représentent un feu beaucoup plus brillant que les autres; ce sont celles qui passent la fusion & qui s'enflamment jusqu'à dissipation des parties; on les distingue aisément sur le papier par leur couleur qui est plus brune, & parce qu'elles sont friables comme le mache-fer.

M. Muschembroek, après Boyle,

M. Hughens & plusieurs autres Physiciens, a fait une grande quantité d'épreuves sur l'inflammation des corps dans le vuide dont on peut voir le détail dans ses commentaires sur les expériences de Florence, *pag. 74 & suiv.* Cette lecture ne peut être que fort utile à ceux qui s'appliquent à la Physique ; & c'est avec regret que je me dispense de les rapporter ici.

APPLICATIONS.

Puisque la flamme ne peut naître ni s'entretenir que dans un milieu à ressort, on ne doit point être surpris qu'une bougie allumée ou un charbon ardent s'éteigne, lorsqu'on le plonge dans les liqueurs les plus inflammables, comme l'esprit-de-vin & les huiles ; & que l'une ou l'autre mette tout d'un coup le feu à ces mêmes liqueurs, lorsqu'elles sont réduites en vapeurs. Car dans ce dernier état elles sont mêlées avec l'air, & elles forment avec lui un fluide élastique ; capable, par conséquent, d'une réaction telle qu'il la faut pour entretenir l'inflammation ; au lieu que

X. LEÇON.

dans l'état des liqueurs elles ſont ſi peu compreſſibles, qu'on doit les regarder comme dépourvûës du dégré de l'élaſticité néceſſaire.

Le feu brûle beaucoup mieux, & le bois ſe conſume bien plus promptement pendant les grands froids qu'en tout autre tems, apparemment parce que l'air eſt plus denſe, & qu'il a plus de reſſort; & au contraire on remarque qu'un réchaud plein de charbon allumé s'éteint bien-tôt s'il eſt expoſé aux rayons du ſoleil, ſurtout pendant l'été.

Que doit-on croire de ces lampes ſépulchrales des anciens, qui, ſi l'on en croit quelques Auteurs, brûloient pendant pluſieurs ſiécles ſans s'éteindre? Un feu qui ne conſume point ſon aliment, & qui s'entretient dans des lieux où l'air ne ſe renouvelle point; pleins de vapeurs groſſiéres, eſt une merveille dont il faudroit conſtater l'exiſtence, par des preuves plus poſitives que toutes celles qu'on en a, avant que de faire les fraix d'une explication qu'on auroit bien de la peine à rendre plauſible. Car ce n'eſt point aſſez qu'il y ait de l'air autour

X. LEÇON.

des matiéres enflammées, pour entretenir le feu, il faut encore que cet air ſoit libre & qu'il ait une certaine pureté: voilà pourquoi les incendies ceſſent ordinairement, quand ils commencent dans des lieux qu'on peut boucher de toutes parts, ſi d'ailleurs leurs parois ſont capables de réſiſter aux efforts de l'air & des vapeurs qui ſe dilatent au-dedans.

Quoiqu'un air renouvellé entretienne la flamme & anime l'embrâſement, cependant le ſouffle de la bouche ou le vent éteint une bougie, parce qu'il diſſipe les parties de la flamme, & qu'il ſépare le feu de ſon aliment: toutes les fois que cette diſſipation n'a point lieu, l'inflammation bien loin de ceſſer, ne fait qu'augmenter.

Je dois avertir auſſi, qu'on ne doit tenter les inflammations dans le vuide qu'avec beaucoup de précautions, ſur-tout celles qui doivent naître de la fermentation: car comme les liqueurs propres à cet effet ſont d'autant plus actives qu'elles ſont moins gênées par le poids de l'atmoſphére, leur exploſion doit être naturelle-

X. LEÇON.

ment plus violente dans le vuide, qu'ailleurs, soit qu'elles produisent, en fermentant, une grande quantité d'air dont le ressort se déploye à l'instant, comme l'ont pensé quelques Physiciens *; soit qu'étant réduites en vapeurs, elles se dilatent elles-mêmes par leur propre embrâsement. Quoique je ne désapprouve pas la première de ces deux explications, je crois pourtant qu'on trouvera plus de vraisemblance dans la dernière, quand j'aurai fait voir ailleurs les prodigieux efforts dont les vapeurs dilatées sont capables.

* *Slare, dans les leçons de Phy. de Cotes, 26. leçon.*

Jusques-ici nous avons parcouru les principales propriétés de l'air qui environne les corps : mais ce fluide se rencontre aussi dans leur intérieur; il en remplit les vuides; il entre, pour ainsi dire, dans leur composition, comme l'eau d'un étang ou d'une rivière pénétre le bois, les pierres qui y sont plongées, & tient une place dans les concrétions qui s'y forment.

Dans quelque état que soient les corps, on y trouve de l'air : les liqueurs en contiennent beaucoup, les corps solides, pour la plûpart,

en ont encore davantage ; & ce qu'il y a d'admirable, c'eſt que dans ceux-ci ſur-tout, la quantité d'air qui s'y trouve renfermé ſurpaſſe aſſez ſouvent 100 ou 150 fois leur volume, quand il eſt dégagé, & qu'il n'eſt plus retenu que par le poids de l'atmoſphére. X. LEÇON.

On peut ôter l'air d'un corps de quatre maniéres différentes ; 1^ment, en le tenant quelque tems dans le vuide, 2^ment, en le faiſant chauffer fortement ; 3^ment, en le diviſant & en déſuniſſant ſes parties, par voye de fermentation, de diſſolution, ou de diſtillation ; 4^ment enfin, en les faiſant paſſer de l'état de liquidité à celui de ſolidité, comme lorſqu'on fait géler de l'eau. Les deux premiers moyens, & peut-être le quatriéme, ne dégagent que les parties les plus groſſiéres de l'air, je veux dire, celui qui eſt dans les pores les plus ouverts & qui a une diſpoſition plus prochaine à s'étendre & à ſe dilater. Par le troiſiéme procedé, on ſépare les moindres parties, celles qu'une extrême ténuité rend preſqu'inflexibles, & qui ne deviennent ſenſiblement élaſtiques, que quand elles ſe

X. LEÇON.

sont réunies plusieurs ensemble, pour former des globules un peu plus grossiers : car on peut croire que les petites lames qui composent une masse d'air, ne sont pas des corps simples, mais des petits composés d'élémens plus courts, & qu'elles sont d'autant plus roides qu'elles sont plus divisées, comme une lame d'acier perd de sa flexibilité à mesure qu'on diminuë sa longueur. Il peut se faire que l'air qui entre dans la composition des mixtes, & qui concourt à la formation de leurs parties intégrantes, soit divisé jusqu'à ses particules élémentaires, & qu'il soit par cela même bien différent de celui qui ne fait que remplir les vuides ou les pores de ces mêmes matiéres.

C'est à cet air extrait des corps que Boyle, & après lui M. Hales, ont donné le nom de *Factice* ; non pas qu'ils ayent cru qu'on pût faire de l'air par la couversion d'une matiére en une autre, mais parce que celui qui existe dans un corps quelconque, & qui est intimement mêlé avec lui, se revivifie ordinairement par le secours de l'art. On peut voir dans les ouvra-

ges mêmes de ces deux Auteurs *, le détail des expériences qu'ils ont faites sur cette matière, & les conséquences qu'ils en ont tirées. Je me bornerai ici à quelques exemples qui pourront suffire, pour donner une idée de cet air factice des qualités qu'il a, & des effets dont il est capable.

X. LEÇON.

* *Boyle, experimentorum Physico-Mech. continuat. secundâ. Hales, stat. des végét. ch. 6. & dans l'appendice, Exp. 2. & suiv.*

XV. EXPERIENCE.

PRÉPARATION.

Il faut mettre dans un gobelet de verre, avec de l'eau claire, un morceau de bois ou de pierre, une noix, un œuf, ou tout autre corps solide & fort poreux, de manière qu'il soit entièrement plongé; ce qui se fera facilement par le moyen d'un plomb qu'on y joindra, si les matières qu'on doit plonger sont plus légères que l'eau. On couvre le tout d'un récipient sur la platine de la machine pneumatique, & l'on fait agir la pompe pour raréfier l'air. *Fig.* 33.

EFFETS.

A chaque coup de piston, on peut

X. LEÇON.

remarquer qu'il sort une grande quantité de bulles d'air du corps plongé ; & lorsqu'on l'ouvre après cette épreuve, on le trouve pénétré & rempli d'eau, plus qu'il ne le pourroit être par une simple immersion.

EXPLICATIONS.

L'air qui est renfermé dans les pores du bois, de la pierre, &c. est pour le moins aussi dense que celui de l'atmosphère dont il a coûtume de soutenir le poids : quand on supprime cette pression, ou qu'on la diminuë par l'action de la pompe, cet air se dilate en vertu de son ressort, son volume augmente, & ne pouvant plus se loger dans ces petits espaces où il est, il s'échappe dans l'eau, & devient visible sous la forme de petits globules, qui s'élévent promptement à cause de leur légéreté respective.

L'air qui passe du corps solide dans l'eau qui l'entoure, se met en petites boules, & cet effet arrive en général à tout fluide qui se trouve plongé dans un autre fluide avec lequel il a peine à se mêler ; apparemment parce que ses parties également pres-

fées de toutes parts tendent à un centre commun. Je sçais bien qu'on objecte contre cette raison, que les gouttes d'eau ou de mercure demeurent arrondies dans le vuide de Boyle ; mais je sçai bien aussi que ce vuide n'en est point un à proprement parler, & que tout ce qu'on peut prétendre, c'est que la pression y soit moindre qu'ailleurs : mais l'effet dont il s'agit dépend bien moins d'une pression plus ou moins grande, que d'une pression égale de toute part, qu'on ne sçauroit nier dans un vaisseau où l'on sçait que l'air grossier n'est que raréfié, & dans lequel tout le monde convient qu'il y a toujours un fluide indépendamment de celui qu'on fait sortir par le moyen de la pompe.

X. LEÇON.

Lorsqu'on fait rentrer l'air dans le récipient, l'eau du gobelet se trouve plus comprimée qu'elle ne l'étoit dans l'air raréfié ; elle s'appuye par conséquent davantage sur toute la superficie du corps plongé. L'air qui a été raréfié dans les pores de celui-ci obéïssant à cette nouvelle pression, se resserre dans un moindre espace,

X. LEÇON.

& l'eau va occuper les vuides qu'il a laiſſés. Voilà pourquoi ces corps étant ouverts après l'expérience, paroiſſent pénétrés ou remplis d'eau.

XVI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On place ſous le récipient d'une machine pneumatique, un gobelet de verre plus long que large, & rempli juſqu'aux deux tiers de bierre, de lait, d'eſprit-de-vin, ou d'eau un peu tiéde, & l'on fait agir la pompe.

EFFETS.

A meſure que l'air du récipient ſe raréfie, celui qui eſt contenu dans la liqueur ſe dégage, & s'éleve à la ſurface en forme de bulles qui augmentent de plus en plus en nombre & en grandeur : celles de l'eſprit-de-vin & de l'eau font un ébullition qui dure quelque tems ; & ſi l'on continuë de faire le vuide, cet effet ceſſe enfin, & l'on ne voit plus ſortir d'air : la bierre & le lait s'élevent en mouſſe, & ſe répandent hors du vaiſſeau. *Voyez la Figure* 34.

EXPLICATIONS.

X. LEÇON.

C'eſt encore en ſupprimant la preſſion de l'air extérieur qu'on donne lieu à celui qui eſt répandu dans la liqueur de ſe dégager ; car n'étant plus chargé comme auparavant, il acquiert un plus grand volume, & ſa légéreté reſpective plus puiſſante alors que le frottement & les autres cauſes qui tendent à le retenir ; ne manque pas de l'élever vers la ſurface.

Plus la liqueur eſt facile à diviſer, plus les bulles d'air s'élevent promptement, plus elles s'aggrandiſſent auſſi parce qu'elles trouvent moins de reſiſtance à vaincre, pour s'étendre : c'eſt pourquoi lorſque le récipient eſt évacué à un certain point, l'eſprit-de-vin & l'eau tiéde qui ſont très-fluides, laiſſent tout d'un coup échapper leur air qui les ſouleve en gros boüillons. La bierre & le lait au contraire étant des liqueurs viſqueuſes, ne ſe diviſent que difficilement : les bulles d'air qui s'y forment, demeurent enveloppées de véſicules, & ne s'élévent que lentement ; & comme ces véſicules ne ſont autre

X. LEÇON.

chose que les parties mêmes de la liqueur qui ont peine à se séparer, les bulles d'air, en les emportant vuident le vaisseau.

APPLICATIONS.

Bien des personnes s'imaginent que tous les corps généralement se conservent très-long-tems dans le vuide; mais il y a beaucoup à rabattre de ce préjugé. Il est vrai que ceux qui sont de nature à se décomposer par l'évaporation d'une partie de leur substance, ou à se corrompre par l'humidité qui pourroit les pénétrer, périssent ordinairement moins vîte dans le vuide que dans l'air libre, parce qu'ils ne sont plus entourés d'un fluide qui fait, comme nous l'avons dit *, la fonction d'une éponge ou d'un absorbant, & qui est toujours chargé de quelques vapeurs: mais il n'en est point ainsi de ceux qui portent en eux-mêmes un principe de fermentation; car, 1^ment, en perdant l'air qui remplit leurs pores, le mouvement intestin de leurs parties n'en devient que plus libre; 2^ment, cette liberté augmente encore par la suppression du poids ou

* *Tome II. p. 121. & suiv.*

du reſſort de l'air extérieur ; ce qui me fait croire que les matiéres de cette derniére eſpêce ſe conſerveroient mieux dans un air comprimé que dans le vuide. X. LEÇON.

Le vin de Bourgogne qui a paſſé les Alpes n'a pas le même corps que celui qu'on boit en France ; il paroît moins coloré & plus pétillant : ne ſeroit-ce point parce qu'il auroit un peu travaillé en paſſant ſur les hautes montagnes où la preſſion de l'atmoſphére étant moins grande qu'elle ne l'eſt dans la plaine, a pû donner lieu à quelque commencement de fermentation ? Ce qui me le feroit ſoupçonner, c'eſt qu'ayant tenu dans un air un peu raréfié, & pendant quelques jours, une bouteille de vin, au bouchon de laquelle j'avois pratiqué un petit trou, il me parut un peu défait, & à-peu-près ſemblable à celui que j'avois goûté en Piémont. Je dois ajoûter cependant, que pluſieurs perſonnes dignes de foi m'ont aſſûré, que le vin de Bourgogne qui va par mer en Italie, eſt ſujet à de pareils changemens : le même effet peut être produit par différentes cauſes.

X. LEÇON.

L'air qui se dégage d'une liqueur en augmente nécessairement le volume jusqu'à ce qu'il en soit entiérement sorti, parce que les globules insensibles qui étoient logés dans les pores, se réüniſſant plusieurs ensemble, forment des masses plus grandes qui occupent de nouvelles places dans la liqueur : de même que si l'eau qu'on fait entrer, comme on sçait, sans difficulté dans un verre plein de cendres ou de sable, se convertiſſoit tout d'un coup en plusieurs petits glaçons de la groſſeur d'une tête d'épingle, on conçoit bien que les deux matiéres ne pourroient plus être contenuës dans le même vase. L'air se dégage auſſi dans les liqueurs qui fermentent, & l'effort qu'il fait pour en augmenter le volume, fait souvent caſſer les vaiſſeaux qui les contiennent.

Il est inutile de proposer ici aucune expérience, pour prouver qu'on peut faire sortir l'air d'une matiére, en la faisant chauffer fortement; nous avons tous les jours sous les yeux aſſez d'exèmples de cette seconde méthode, dans la préparation de nos alimens ;

X. LEÇON.

alimens; on entend, & l'on voit même ſortir l'air des viandes & des fruits qu'on fait cuire, du bois verd qu'on met au feu, de l'eau, & des autres liqueurs que l'on fait boüillir. Les premiers boüillons doivent être attribués aux parties les plus groſſiéres de l'air, qui dilatées par la chaleur dans un fluide qui ſe dilate lui-même, augmentent en volume, & ſoulévent avec violence ce qui s'oppoſe à leur extenſion & à leur aſcenſion. Je dis les premiers boüillons; car je ferai voir, en parlant du feu & de ſes effets, qu'une liqueur qui continuë de boüillir juſqu'à ce qu'elle ſoit entiérement évaporée, ne le fait pas en vertu d'une quantité d'air aſſez conſidérable pour fournir juſqu'à la fin. Mais quand l'air ſort d'une liqueur que l'on fait chauffer, on voit à-peu-près le même effet que dans le vuide; les bulles qui ſe forment ont d'autant plus de peine à ſe dégager, que la matiére qui les enveloppe eſt plus difficile à rompre ou à étendre: elles ſe dégagent donc & s'élevent plus lentement dans du lait que dans de l'eau, & l'action du feu qui tend à les

X. LEÇON.

dilater agit plus long-tems sur chacune, & en même tems sur un plus grand nombre ; c'est pourquoi ces sortes de liqueurs, le beurre, les résines & les gommes fonduës, se gonflent peu-à-peu, & surprenent, par des effervescences subites & assez souvent dangereuses, ceux qui les font chauffer avec trop peu d'attention.

A-peu-près comme l'eau sort d'une éponge moüillée que l'on presse, l'air se dégage de toutes les matiéres dont les parties se rapprochent & se condensent fortement : on s'en apperçoit rarement dans les solides, parce qu'étant communément plongés dans l'air de l'atmosphére, celui qui sort de leur intérieur se mêle immédiatement avec un fluide semblable à lui-même, & qui empêche par cette raison, qu'on ne le distingue : ce n'est qu'en pressant ces corps dans l'eau, ou dans quelqu'autre liqueur, qu'on peut s'assûrer de l'effet dont il est question.

Les liquides qui se gêlent, se désaisissent aussi de l'air qu'ils contiennent à mesure que leurs parties se rapprochent ; & quand cet air qui étoit dis-

X. LEÇON.

séminé dans les pores en particules insensibles, s'en trouve exclu, il se rassemble en plusieurs bulles, & prend différentes formes dans la masse, s'il s'y trouve renfermé & retenu par les progrès trop rapides de la congélation. Je pourrois appeller en preuves les phénoménes de la glace ; mais il sera tems d'en faire mention lorsque je traiterai de l'eau & de ses différens états.

Le dernier procedé, & celui qui est peut-être le plus efficace de tous, pour séparer l'air des matiéres avec lesquelles il se trouve mêlé, c'est la division de leurs parties, sur-tout si cette division va jusqu'à les décomposer, comme il arrive ordinairement lorsqu'on fait putréfier, fermenter, distiller, ou brûler les corps mixtes.

Que la quantité d'air que l'on tire ainsi, égale presque le volume des corps d'où il sort, c'est une merveille que l'on n'a dû croire que d'après l'expérience; mais que cet air extrait, & soumis au poids de l'atmosphére, surpasse un grand nombre de fois la grandeur de ces mêmes corps qui le

X. LEÇON.

contenoient, c'eſt ce qu'on ne peut apprendre ſans étonnement; & l'on ſeroit tenté d'en douter, ſi les Auteurs les plus accrédités, de qui nous tenons cette découverte, n'avoient appuyé leurs témoignages ſur un détail bien circonſtancié de leurs épreuves. Celles de MM. Mariotte & Hales m'ont paru les plus déciſives; c'eſt dans leurs écrits que j'ai puiſé les preuves ſuivantes: le lecteur qui prendra la peine de les chercher dans leurs ſources, y trouvera un grand nombre de faits, plus curieux les uns que les autres, & qui établiſſent de concert la doctrine que je viens d'expoſer.

XVII. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 35. repréſente une taſſe de métal fort mince, au fond de laquelle on a pratiqué un enfoncement que l'on emplit d'une groſſe goutte d'eau; on verſe enſuite de l'huile d'olives, juſqu'à la hauteur d'un travers de doigt, & l'on couvre la goutte d'eau d'un petit vaſe de verre qui a la for-

mê & à-peu-près la grandeur d'un dé à coudre, ayant attention qu'il soit plein d'huile, ce qu'il est aisé de faire en l'inclinant dans la tasse avant que de le placer debout.

EFFETS.

Si l'on tient la tasse sur une bougie ou sur une lampe allumée, pour faire chauffer la goutte d'eau; 1°. Il s'en éleve peu-à-peu une grande quantité de petites bulles d'air, qui lorsque tout est refroidi, occupent dans le vase de verre, un espace plus grand (*a*) que le volume de la goutte d'eau d'où elles sont sorties: 2°. l'huile qui reste dans le petit vase de verre perd sa transparence, en se refroidissant.

EXPLICATIONS.

A mesure que la goutte d'eau s'échauffe, les parties s'écartent un peu les unes des autres; les pores ou petits intervales qui sont entr'elles, se dilatent, les particules d'air qui se trouvoient retenuës deviennent plus libres, & leur légéreté respective

(*a*) M. Marriotte dit 8 *ou* 10 *fois plus grand*; cependant quoique j'aye répété cette expérience bien des fois, & avec soin, je n'ai jamais trouvé tant d'air au haut du petit vase.

X. LEÇON.

suffit alors pour les dégager entiérement, & pour les élever dans la partie supérieure du petit vase de verre. Mais ce qui aide encore davantage cette séparation, c'est que la même chaleur qui dilate la goutte d'eau, dilate aussi les petites bulles d'air, & leur volume considérablement augmenté les rend d'autant plus légéres, & par conséquent d'autant plus propres à s'élever au-dessus de l'eau & de l'huile. On peut ajoûter encore que la liquidité de l'eau & de l'huile augmente par l'action du feu, que le frottement & la viscosité diminuënt d'autant; ce qui donne lieu aux bulles d'air de se dégager & de s'élever plus facilement.

La colonne d'huile qui couvre la goutte d'eau devient opaque, parce que la chaleur éléve la vapeur de l'eau, qui se mêle aux parties de l'huile, & qui forme avec elles des molécules dont l'assemblage devient moins perméable à la lumiére: soit que les pores de ce liquide composé soient moins directs qu'ils ne le sont dans l'eau & dans l'huile séparément; soit que ses parties devien-

nent trop grossiéres. Cette derniére raison (qui n'exclut point l'autre) paroît d'autant plus probable, que cette même huile chargée d'eau & devenuë opaque, reprend presque sa premiére transparence lorsqu'on la fait chauffer de nouveau, sans doute, parce qu'alors les parties atténuées par l'action du feu laissent à la lumiére un passage plus libre.

XVIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La préparation de cette expérience se fait à-peu-près comme celle de la précédente, excepté seulement, qu'on emploit de vases plus grands, & qu'au lieu d'une goutte d'eau au fond de l'huile, on met dans de l'eau tiéde un petit cylindre de sucre commun, égal à la partie *AB*, prise intérieurement. *Figure* 35.

EFFETS.

A mesure que le sucre se fond dans l'eau, on en voit sortir des bulles d'air qui s'élevent vers la partie supérieure du vaisseau; & lorsque la dissolution est faite, la quantité d'air qui s'est

élevée égale assez souvent les $\frac{2}{3}$ ou
X. LEÇON. les $\frac{3}{4}$ de l'espace *A B*.

EXPLICATIONS.

L'eau chaude, en pénétrant le sucre, désunit ses parties, & les subdivise ; alors les petites bulles d'air qu'elles renfermoient entr'elles, étant comme isolées, s'élevent à travers de l'eau qui est toûjours beaucoup plus pésante. La quantité de ces particules d'air varie selon la qualité du sucre, & la solution plus ou moins parfaite de sa masse : mais on peut toujours comparer le volume d'air qui est sorti, à celui du sucre qu'on a fait fondre, puisque l'espace *A B* sert de mesure commune à l'un & à l'autre.

XIX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut joindre la cornuë *A B*, *Fig.* 36. dans laquelle on aura mis quelque matiére à distiller, au matras *AC*, avec quelque espêce de lut qui ne se fonde point à une médiocre chaleur, & qui ne se dissolve point non plus par une légére humidité. Ces deux vaisseaux étant

étant ainſi joints, il faut faire entrer dans le col du dernier une branche du ſcyphon *E D F*, par un trou pratiqué au fond du vaiſſeau; on plonge enſuite le matras & le ſcyphon dans l'eau, afin que le premier s'empliſſe par *D*, juſqu'à la hauteur *F*; ce qui ſe fait aiſément par le moyen du ſcyphon qui permet à l'air de s'échapper: on ôte enſuite ce ſcyphon, & l'eau demeure ſuſpenduë à la hauteur *F*, par la preſſion de l'atmoſphére qui agit ſur celle du bacqnet. Enfin l'on chauffe la cornuë, en la poſant ſur un fourneau diſpoſé à une hauteur convenable. Si les matiéres que l'on diſtille rendent de l'air, on s'en apperçoit, parce que le volume de celui qui eſt renfermé en *A F*, augmente: ſi au contraire elles en abſorbent, comme il paroît en certains cas, on le voit auſſi par la diminution de ce même volume d'air. Et ſi l'on veut comparer la quantité d'air rendu ou abſorbé, à celle des matiéres qu'on a miſes dans la cornuë, on le peut facilement en réduiſant à une meſure connuë, comme au pouce cubique, par exemple, ce qu'on met dans la cornuë: car.

X. LEÇON.

X. LEÇON.

après la distillation, on pourra voir combien il faut de pouces cubiques d'eau pour remplir l'espace occupé par l'air, en plus au-dessous, ou en moins au-dessus de *F*.

Mais ce volume d'air que l'on veut mesurer, ne doit l'être que quand tout est refroidi au même dégré que l'étoit celui de la partie *A F*, au moment que l'on a commencé l'expérience; car on sçait combien quelques dégrés de chaleur de plus ou de moins peuvent faire varier les dimensions de ce fluide; & pour n'avoir point d'erreur considérable à soupçonner à cet égard, il faudroit y avoir enfermé un petit thermométre très-sensible.

Une autre attention que l'on doit avoir encore, si l'on veut procéder avec exactitude, c'est de consulter la hauteur du barométre, au commencement & à la fin de l'expérience, pour s'assurer si le poids de l'atmosphére n'a point varié pendant l'opération : car il est certain que le volume d'air contenu dans le col du matras doit augmenter ou diminuer, selon que l'eau y sera poussée plus ou moins haut, par la pression de l'air

extérieur sur la surface du bacquet.

X. LEÇON.

Enfin s'il s'agissoit d'une exactitude scrupuleuse, on devroit considérer encore, que la colonne d'eau qui demeure au-dessus du niveau, ou qui est portée au-dessous, par la quantité plus ou moins grande de l'air qui occupe le col du matras, empêche que cet air ne soit jamais d'une densité parfaitement égale à celle de l'air extérieur; mais heureusement dans la plûpart de ces épreuves, on peut se contenter d'un à-peu-près; & le Physicien doit souvent se mettre au-dessus des minuties, pour n'être point découragé dans ses recherches.

EFFETS.

Par des procédés à-peu-près semblables à celui que je viens de décrire, M. Hales * ayant éprouvé toutes sortes de matières animales, végétales, & minérales, solides & liquides, a trouvé, par exemple, qu'un pouce cubique de sang de cochon, distillé jusqu'aux scories sèches, produisoit 33 pouces cubiques d'air.

* *Stat. des Végét. ch. 6.*

Que la moitié d'un pouce cubique de la pointe des cornes d'un daim

X. LEÇON.

donnoit 117 pouces cubiques d'air, ce qui faisoit un volume 234 fois aussi grand que celui de la matière distillée.

Que d'un demi-pouce cubique de bois de chêne, il en sortoit 128 pouces cubiques d'air.

Que d'un pouce cubique de terre vierge, il vint à la distillation 43 fois autant d'air.

Le même Auteur trouva que l'eau forte, le soufre, & plusieurs autres matières, bien loin de rendre de l'air, en absorboient; c'est-à-dire, qu'après la distillation, le volume d'air contenu en *A F*, se trouvoit moins grand qu'il n'étoit avant l'expérience.

EXPLICATIONS.

Lorsqu'on distille une matière, l'action du feu divise ses parties, les réduit, & les élève en vapeurs. Les particules d'air qui se trouvent dans la masse demeurant isolées par sa division, & par son évaporation, s'unissent avec le volume d'air qui est renfermé dans la cornuë & dans le col du matras, & ce volume est d'autant augmenté: de-là il arrive que la

ſurface de l'eau baiſſe communément au-deſſous de *F*.

Mais ſi la matiére que l'on diſtille eſt de telle nature que l'air s'uniſſe à elle plus facilement & plus fortement qu'il ne peut s'unir avec d'autre air, non-ſeulement cette matiére ne ſe déſaiſit point des particules d'air qu'elle contient; mais acquérant plus de ſurface par ſa diviſion, elle s'approprie encore de nouvelles parties d'air en paſſant par l'eſpace *AF*; & l'eau s'éléve d'autant, pour occuper la place de l'air abſorbé.

Ce que l'on a de la peine à comprendre, c'eſt qu'il puiſſe ſe loger une ſi grande quantité d'air dans certaines matiéres, ſans qu'il y paroiſſe comprimé, autant qu'il faudroit qu'il le fût, ſi l'on vouloit le réduire à un auſſi petit volume, lorſqu'une fois il eſt dégagé; car quelle force ne faudroit-il pas pour reſtraindre dans l'eſpace d'un démi-pouce cubique 234 fois autant d'air ſemblable à celui de l'atmoſphére?

Ce phénoméne nous apprend que l'air intimement mêlé à d'autres matiéres, y eſt dans un état tout diffé-

X. LEÇON.

rent de celui où nous le voyons lorſqu'il en eſt dégagé ; quel eſt donc cet état de l'air dans l'intérieur des corps ? & comment en reçoit-il un autre lorſqu'il ſe dégage ?

On peut ſuppoſer, comme l'ont fait pluſieurs habiles Phyſiciens * de nos jours, que les parties de l'air, lorſqu'il eſt intimement mêlé à quelqu'autre matiére, ne ſe touchent plus, & qu'elles ſont immédiatement appliquées aux parties même du corps qui les contient, comme pourroient être de petits poils ou des filets de coton qui enveloppperoient, par exemple, des grains de ſable, ou qui ſeroient logés ſéparément dans les intervalles qui ſe trouveroient à remplir entre ces mêmes grains raſſemblés en une maſſe : car quoique pluſieurs brins de coton enſemble forment ordinairement un petit flocon flexible, & qui occupe un eſpace aſſez ſenſible, à cauſe de tous les vuides qui font partie de ſon volume ; on conçoit bien cependant qu'il en occuperoit incomparablement moins par ſa matiére propre, & ſi ſes vuides remplis d'une autre ſubſtance ne

* *M. de Mairan, Diſſertat. ſur la glace.*

Mariotte, Eſſais ſur la nature & les propriétés de l'air.

contribuoient plus à sa grandeur. On doit convenir aussi que sa flexibilité, & par conséquent son ressort, seroit nulle, si chacun de ces petits filets étoit soutenu par un corps dur, comme il arriveroit infailliblement, si l'espace de l'un à l'autre étoit rempli par une matiére solide. X LEÇON.

Cette hypothése est d'autant plus vraisemblable, que l'air ne paroît contribuer ni à la compressibilité des corps, ni à leur dilatabilité : l'esprit de vin des thermométres étant purgé d'air *, n'en paroît ni plus ni moins sensible à l'augmentation du froid ou du chaud : & les corps qu'on a tenus dans le vuide, n'en sont pas moins compressibles, quoiqu'on en ait vû sortir une quantité d'air assez considérable. L'air dans l'intérieur des corps, est donc, comme dit M. Hales, dans un état de fixité ; & lors même qu'il s'en dégage, il n'acquiert point de ressort, s'il emporte avec lui quelque substance étrangére qui l'empêche de se joindre à d'autre air, pour former de petits globules : car ce n'est que dans ce dernier état, qu'il peut être flexible & élastique.

* *Voyez les Mem. de l'Acad. pour l'année* 1731. *pag.* 267.

X. LEÇON.

Ce raisonnement, je l'avouë, est fondé sur des faits incontestables ; mais il en est d'autres, qui ne sont ni moins certains ni moins connus, & qui nous portent à raisonner tout autrement ; lorsqu'une matiére passe dans le vuide, ou que l'action du feu ou d'un dissolvant diminuë, ou fait cesser la cohérence de ses parties, on voit aussi-tôt l'air s'en dégager ; ne devons-nous pas penser que cet air étoit dans l'état d'un ressort tendu, & qu'il n'attendoit pour se déployer que la suppression des obstacles qui l'en empêchoient ?

Voici ce que l'on peut dire pour concilier ces phênoménes qui semblent se contredire : l'air, dans la plûpart des corps, se trouve sous deux états différens ; les plus grands vuides, ces pores qui communiquent ensemble, le contiennent en globules, ou pour mieux dire, en petites colonnes que le poids de l'atmosphére a condensées, & qui par la continuité de leurs parties ont conservé la faculté de s'étendre & de se porter en dehors lorsque la pression extérieure vient à cesser ; l'autre air beaucoup

plus diviſé, ne remplit que des pores iſolés plus petits, & la matiére qui l'environne a plus de cohérence qu'il n'a d'élaſticité. Pour dégager le premier, il ſuffit ou d'augmenter fortement ſon reſſort par la chaleur, ou de lever l'obſtacle qui le tient tendu : ces deux moyens ſont faciles ; 1^rement, parce que le reſſort de l'air s'anime d'autant mieux que ſon volume eſt plus grand ; 2^dement, parce que les pores qui contiennent ces petites colonnes ſont ouverts juſqu'à la ſurface. Il n'en eſt pas de même de l'autre air, il faut pour l'extraire, diviſer le corps juſques dans ſes moindres parties ; & comme on ſuppoſe ce fluide réduit preſque à ſes premiers élémens, on ne doit rien attendre de ſon reſſort, pour aider cette ſéparation.

A l'aide de cette ſuppoſition, je conçois comment l'air ne rend ni plus dilatables, ni plus compreſſibles les matiéres avec leſquelles il eſt mêlé, quoiqu'il y jouiſſe de ſon élaſticité ; car 1°. ſi les petits globules contigus les uns aux autres dans toute l'étenduë de chaque pore, s'y trou-

X. LEÇON.

vent contenus comme dans une gaine, dont les parties solides se soutiennent mutuellement, ce canal comprimé par dehors, n'empruntera rien de la flexibilité de l'air qu'il renferme, & par conséquent le corps entier qui n'est qu'un assemblage de ces tuyaux, ne sera ni plus ni moins compressible, soit que ses pores soient remplis d'air, soit qu'ils en soient vuides. 2°. Si ces colonnes d'air moulées dans les pores sont composées de globules fort petits, comme on le doit supposer, l'action modérée du feu ne pourra les dilater que très-peu, & leur accroissement n'excédera pas sensiblement celui des pores qui se dilatent aussi par le même degré de chaleur: ainsi la masse totale ne sera ni plus ni moins dilatable, soit qu'elle contienne de l'air élastique, soit qu'elle n'en contienne pas.

Mais cet air même le plus intimement mêlé, celui que nous regardons comme n'ayant point de ressort, parce qu'il est extrêmement divisé, n'en a-t'il point en effet? Ses parties au lieu d'être devenuës trop courtes pour être flexibles, ne seroient-elles

pas plutôt repliées sur elles-mêmes autant qu'il est possible qu'elles le soient ? & leur inflexibilité ne viendroit-elle pas de ce qu'elles ne pourroient plus s'approcher davantage, à-peu-près comme un fil roulé en peloton, devient un corps dur qu'on a peine à comprimer, & qui, lorsqu'il se développe, occupe une place incomparablement plus grande. En m'arrêtant à cette idée, j'apperçois la raison pour laquelle cet air extrait des corps prend un volume si considérable qu'il excéde deux ou trois cent fois celui dont il faisoit partie. La nature a pû se ménager des moyens pour restraindre ainsi les particules d'air qu'elle fait entrer dans la composition des mixtes; & la cohérence de ces mêmes corps, quelle qu'en soit la cause, est une puissance qui peut suffire pour résister à sa réaction.

Une raison que l'on peut ajouter encore pour expliquer cette prodigieuse extension de l'air extrait, c'est que cet air n'est point pur, c'est un fluide composé, qui tient beaucoup des matiéres d'où il sort; je ne veux pour preuves que les effets dont il est

X. LEÇON.

capable : celui que l'on tire de la pâte fermentée, des fruits, & de la plûpart des végétaux, éteint le feu, suffoque les animaux, & se fait sentir par une odeur pénétrante * ; il est donc évident que cet air est chargé d'une vapeur abondante, qui fait partie de son volume, & l'on sçait d'ailleurs que toutes les substances qui s'évaporent, s'étendent prodigieusement ; ainsi les cent vingt-huit pouces cubiques d'air qui sortent d'un demi-pouce cubique de bois de chêne, se réduiroient vraisemblablement à une quantité bien moins grande, si l'on en séparoit ce qu'ils contiennent d'étranger.

* *Boyle, Exp. Phys. Mech. continuat. 2. Halas, Stat. des végét. pag. 152.*

APPLICATIONS.

Les alimens tant solides que liquides qui entrent dans l'estomac, s'y décomposent par la digestion ; ils se désaisissent par conséquent de l'air qu'ils contiennent ; cet air ainsi dégagé se rassemble en bulles, & prend un volume beaucoup plus considérable ; non-seulement parce qu'il se développe & s'étend lorsqu'il est libre, comme on l'a vû par les expé-

riences précédentes ; mais encore parce qu'il éprouve un degré de chaleur assez grand, qui dilate ce fluide d'autant plus que sa masse est plus ample. X. LEÇON.

Si l'air qui se dégage ainsi des alimens dans l'estomac, ne trouve point d'issuë libre pour en sortir, il presse & distend les parties qui le retiennent, & ses efforts font naitre quelquefois des douleurs assez vives, que l'on nomme *colliques de vents.*

Lorsque rien ne s'oppose à son passage, il sort par la bouche, & cause ces rapports le plus souvent désagréables & plus ou moins fréquens, selon la quantité des alimens qu'on a pris, leurs qualités, leurs préparations, ou la disposition actuelle de l'estomac qui les digére.

Ces rapports déplaisent presque toujours, quoique l'on ait mangé ou bû des substances qui soient par elles-mêmes d'une odeur & d'un goût fort agréables : c'est que la digestion les décompose, & que l'air qui s'en exhale n'en emporte que des extraits: or dans les alimens les plus sains, il y a des parties, qui lorsqu'elles sont

X. LEÇON.

séparées des autres, sont capables d'affecter nos sens d'une maniere déplaisante ou même dangereuse. Le pain & la pâte de froment, le raisin & les autres fruits, &c. sont du goût de tout le monde, & ne nuisent point au commun des hommes; cependant l'air qui en sort, quand on les fait fermenter, est infect & mortel.

Un estomac surchargé d'alimens, est plus incommodé qu'un autre de ces sortes d'exhalaisons; on en voit assez la raison. Mais la qualité & la préparation sont deux choses qui ont beaucoup de part à cet effet. En général les liqueurs spiritueuses & fermentées comme le vin, la bierre, &c. & tous les alimens crus, portent avec eux une très-grande quantité d'air; & l'on doit s'attendre d'en être incommodé, si l'on n'en use avec modération.

Un usage modéré des alimens ne garantit pas même toujours des rapports d'estomac; on voit des personnes précautionnées & sobres, qui s'en plaignent beaucoup. C'est qu'alors il y a sans doute quelqu'humeur vicieuse qui occasionne une mauvaise

digeſtion. Suivant nos principes, cette digeſtion eſt mauvaiſe par excès; car puiſqu'elle rend une plus grande quantité d'air, il paroît que les alimens ſont plus diviſés; ainſi en pareil cas, on pourroit dire peut-être que l'on digére trop; mais ceci paſſe les bornes de mon deſſein, c'eſt une queſtion que je ſoumets à l'examen de la Faculté. X. LEÇON.

En certains tems de l'année le vin & la bierre travaillent dans les tonneaux & dans les bouteilles; c'eſt-à-dire, qu'il s'y fait une légere fermentation, ſur-tout ſi ces liqueurs ſont remuées ou placées dans des lieux qui ne ſoient pas aſſez frais. Ces mouvemens inteſtins ne manquent point de donner lieu aux particules d'air de ſe dégager & de monter à la ſurface; & comme il lui faut alors beaucoup plus de place qu'il n'en occupoit lorſqu'il étoit diviſé & logé dans les pores, il ſort avec impétuoſité, dès qu'on débouche les vaiſſeaux, & ſes efforts vont même juſqu'à les faire créver, lorſqu'on néglige de lui ouvrir un paſſage.

Dans les laboratoires de chymie,

X LEÇON.

les artiſtes ont grand ſoin de laiſſer une iſſuë à l'air, quand ils lutent leurs vaiſſeaux ; l'uſage leur a appris que ſans cette précaution, les ballons ſont en danger de créver avec éclat : quand cet accident arrive, on a coutume de s'en prendre à la maſſe d'air qu'on a laiſſé enfermée dans le récipient, & que la chaleur dilate ; & en effet cette cauſe y contribuë : mais la rupture des vaiſſeaux vient principalement de la quantité d'air qui ſort de la plûpart des matiéres qu'on diſtille ; car pour l'ordinaire, le ballon eſt capable de réſiſter aux efforts de l'air qu'on y renferme, & qui n'y ſouffre qu'un degré de chaleur aſſez médiocre.

Quand on enfonce une canne ou un bâton dans la vaſe au bord d'une riviére ou d'un étang, on voit communément beaucoup de bulles d'air s'élever à la ſurface de l'eau ; cet air vient ſans doute des feuilles, des branches d'arbres, des plantes & autres végétaux qui ſe ſont amaſſés & pourris au fond ; il demeure engagé dans la bouë juſqu'à ce qu'on lui ouvre une iſſuë.

Si

X. LEÇON.

Si l'on fait sortir l'air d'une matière sans désunir les parties de sa masse, en la plaçant, par exemple, dans le vuide ; dès qu'on l'expose ensuite à l'air libre, elle reprend ce qu'on lui a ôté, à-peu-près comme une éponge qui se remplit toujours d'eau, toutes les fois qu'on l'y plonge après l'avoir pressée. M. Mariotte * s'est assûré du fait par une expérience aussi simple qu'ingénieuse. Il purgea d'air une certaine quantité d'eau, en la faisant bouillir ; & en la mettant ensuite quelque tems dans le vuide, il en remplit une phiole qu'il renversa dans un vase plein d'eau, sans la boucher, en observant de faire monter dans le haut une bulle d'air de la grosseur d'une aveline ; peu-à-peu il vit diminuer cet air, qui disparut enfin tout-à-fait au bout d'environ 3 jours, ce qui lui fit connoître évidemment que l'eau de la phiole s'en étoit saisie ; ce qui s'est passé à l'égard de l'eau, arriveroit sans doute à toute autre matière ; on pourroit tout-au-plus soupçonner quelques variétés, dans la quantité d'air qui rentre, ou dans le tems qu'il met à rentrer

* *Essai sur la nature & les propriétés de l'air.*

X. LEÇON.

Des expériences d'un autre genre auſquelles j'étois occupé, ayant exigé que je ſçuſſe avec plus de préciſion, en combien de tems l'eau peut reprendre l'air qu'elle a perdu par l'ébullition & par la ſuppreſſion du poids de l'atmoſphére, je fis l'expérience qui ſuit.

XX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A, *Fig.* 37. eſt une caraffe que je remplis d'eau, récemment purgée d'air, environ juſqu'aux deux tiers de ſa capacité; je la bouche avec du liége que je couvre enſuite d'une couche de cire fonduë & mêlée avec de la térébenthine; à travers de ce bouchon je fais paſſer le bout du tuyau de verre *B C D*, qui eſt recourbé en deux ſens oppoſés, & dont la partie *C D* attachée ſur une planche graduée en pouces & en lignes, eſt ſoutenuë verticalement ſur un pied. Je fais encore paſſer à travers du même bouchon le tube d'un thermométre, dont la boule eſt en partie plongée dans l'eau de la caraffe.

Je place enſuite cette même caraffe dans un ſceau qui eſt rempli d'eau, ainſi que la partie *C E* du tuyau ; je marque alors avec un fil *K*, la hauteur du thermométre, & j'obſerve au barométre celle du mercure, au moment que je commence l'expérience. X. LEÇON.

Tout étant ainſi diſpoſé, je remarque de 12 en 12 heures l'aſcenſion de l'eau dans le tuyau au-deſſus du point *E* ; & pour être sûr que l'air eſt toujours d'une égale denſité entre l'eau du tuyau & celle de la caraffe, à chaque obſervation, je prens ſoin 1°. de rappeller le bain du ſceau *G H* à ſa premiére température, en le réchauffant ou en le refroidiſſant juſqu'à ce que la liqueur du thermométre revienne, & ſe fixe au fil *K*. 2°. Je vois de combien le mercure a hauſſé ou baiſſé dans le barométre, & comme une ligne de mercure répond à 14 lignes d'eau pour le poids, je les ajoûte ou je les diminuë dans la partie *C D* du tuyau, afin que la preſſion de l'atmoſphére demeure toujours à-peu-près la même.

La quantité d'eau qui s'éléve au-

X. LEÇON.

dessus du point *E*, indique, comme on voit, le volume d'air qui rentre dans l'eau de la caraffe; & après l'expérience, on peut comparer ce volume d'air à celui de l'eau dans laquelle il rentre, en mesurant avec un chalumeau renflé *F*, combien de fois l'eau de la caraffe surpasse celle qui s'est élevée au-dessus du point *E*.

EFFETS.

En procédant ainsi j'ai observé; 1°. Que l'eau du tuyau s'est élevée continuellement pendant 7 à 8 jours au-dessus de *E*.

2°. Que le progrès de son ascension a toujours été en diminuant, de façon que dès le sixiéme jour, il étoit presqu'insensible.

3°. Que la somme de toutes les quantités d'eau élevées égaloit à-peu-près la trentiéme partie de celle de la caraffe.

EXPLICATIONS.

La masse d'eau qui est dans la caraffe, est à l'égard de l'air qui est contenu au-dessus, à peu-près comme un corps spongieux que l'on a pressé ou

desséché, & que l'on applique à la surface de quelque liqueur; les pores qui ont été vuidés, comme autant de petits tubes capillaires, absorbent le fluide qui s'y présente, & qui est encore aidé par la pression de l'atmosphére qui agit en *D*. Mais comme l'air est composé de parties rameuses, ou de petites lames tortillées, ce n'est que peu-à-peu qu'il s'atténuë, & que ses globules peuvent se proportionner aux petites capacités tortueuses qu'il doit remplir; la difficulté qu'il a pour s'introduire dans l'eau, devient d'autant plus grande, que la masse de la liqueur est plus profonde; & c'est par ces raisons, sans doute, qu'il la pénétre si lentement, & que les progrès de cette pénétration vont toujours en diminuant.

X. LEÇON.

APPLICATIONS.

En suivant le procédé de l'expérience précédente, on peut connoître à-peu-près la quantité d'air que l'on a fait sortir d'une matiére; car il y a toute apparence, qu'après un tems suffisant, ce qui est rentré est égal à ce qui en étoit sorti; & con-

X. LEÇON.

séquemment on pourra juger entre plusieurs espêces, celle qui abonde le plus en air, celle qui le reprend plus promptement, & combien de tems on peut la regarder comme étant purgée d'air.

Ne pourroit-on pas même par ce moyen introduire certaines odeurs dans des matiéres fluides ? car l'air en y rentrant, pourroit servir de véhicule aux parties odorantes, dont il se charge très-facilement, & en très-grande quantité.

Ces différentes vûës ouvrent un champ assez vaste à de nouvelles & curieuses expériences ; j'en ai déja tenté avec quelque succès plusieurs, dont je rendrai compte ailleurs ; je souhaite que mon exemple excite le zéle des Physiciens ; la même matiére maniée par différentes mains, fournit ordinairement un plus grand nombre de connoissances.

Fig. 34.
I
K
A
B
Fig. 35.
K
B
A
H
A
Fig. 36.
B

XI. LEÇON.

Suite des propriétés de l'air.

II. SECTION.

De l'Air considéré comme Atmosphére terreſtre.

LA plûpart des matiéres terreſtres contiennent beaucoup d'air entre leurs parties, comme nous l'avons fait voir à la fin de la Leçon précédente ; réciproquement auſſi, une maſſe d'air quelconque ſe trouve toujours mélangée de quelques ſubſtances étrangéres, & l'on peut dire d'elle, comme de tout autre corps, qu'elle n'eſt jamais parfaitement pure, c'eſt-à-dire, qu'elle comprend toujours dans ſon volume quelqu'autre choſe que ſa matiére propre. Tout ce qui s'exhale de la terre & des eaux, des animaux & des plantes, entre auſſi-tôt

XI. LEÇON.

dans cet élément que nous respirons, dans lequel nous vivons, & à qui l'on a donné le nom d'*Atmosphére*, parce qu'il enveloppe de toutes parts le globe dont nous habitons la surface. C'est un fait dont nous avons essayé de rendre raison *, en supposant qu'il étoit suffisamment connu; & en effet, si l'on en pouvoit douter, la dissipation d'une infinité de substances qui disparoissent tous les jours à nos yeux, & l'opinion raisonnable & généralement reçûë, que rien ne s'anéantit de tout ce qui a été créé, suffiroient pour nous convaincre de cette vérité: lorsque le feu décompose un mixte, ne voyons-nous pas les parties les plus subtiles s'élever en flamme & en fumée? Quand le cadavre d'un chien ou d'un cheval qu'on a jetté à la voirie, diminuë de jour en jour, & devient à rien, n'est-ce point toujours en infectant les environs par une mauvaise odeur, effet, comme on sçait, des parties qui s'en exhalent? Enfin quelqu'un ignore-t'il que les vaisseaux qui contiennent des liqueurs, se vuident par évaporation, si l'on néglige de les boucher? L'atmosphére

* *Tome II. pag. 110. & suiv.*

mosphère terrestre est donc un fluide mixte, un air chargé d'exhalaisons & de vapeurs. Son état varie selon les tems & les lieux, parce que les parties qui entrent dans ce mélange, ne sont pas toujours ni par-tout en même quantité, ni avec les mêmes qualités. XI. LEÇON.

On peut considérer l'atmosphére sous deux aspects différens : 1^ment, comme un fluide en repos, qui pése également de toutes parts sur la terre, qui reçoit d'elle des matiéres de différentes natures, qui les soutient pendant un tems, qui les laisse retomber, & qui nous transmet le chaud & le froid dont il est susceptible : 2^ment, comme un fluide agité, dont les mouvemens peuvent être différemment modifiés. En examinant l'atmosphére sous ces deux poïnts de vûë, nous parcourrons dans les deux articles suivans ses principales propriétés.

ARTICLE PREMIER.

De l'Atmosphére considérée comme un fluide en repos.

Le repos que je suppose ici ne doit point s'entendre dans un sens

XI. LEÇON.

absolu, & pour toute l'atmosphére en même tems ; car à la rigueur les parties qui la composent sont dans un mouvement presque continuel, puisqu'elles s'élévent ou s'abbaissent fréquemment, & que les changemens de température les étendent ou les resserrent alternativement. Indépendamment de ces vicissitudes, il ne regne jamais un calme si complet dans ce vaste fluide, qu'il n'y en ait toujours quelque portion agitée ; & d'ailleurs l'atmosphére est une dépendance du globe terrestre qui se meut comme lui & avec lui en 24 heures sur un axe commun, & en un an dans le même orbe autour du soleil ; ainsi quand je la considére comme étant en repos, c'est bien moins en lui attribuant absolument cet état, qu'en faisant abstraction de ses principaux mouvemens.

Nous ne voyons jamais qu'aucune portion de l'atmophére perde sa fluidité, quoiqu'une grande partie de ce qui la compose soit propre à former des corps solides : l'eau s'y durcit & retombe en petits glaçons ; mais l'air dans lequel elle étoit soutenuë ne se

congéle point avec elle ; c'eſt que ces parties aqueuſes, quelqu'abondantes qu'elles ſoient, ne le ſont jamais aſſez pour intercepter entiérement la contiguité des parties propres d'un volume d'air un peu conſidérable ; & cet élément, tant qu'il fait maſſe, conſerve toujours ſon reſſort ; qui paroit être, comme nous l'avons dit ci-deſſus, la principale cauſe de ſa fluidité. XI. LEÇON.

Toute matiére qui appartient à la terre a une tendance naturelle vers le centre de cette planette. Or comme l'atmoſphére eſt compoſée d'air, & d'un extrait, pour ainſi dire, de tous les corps ſublunaires, dont nous avons prouvé la peſanteur dans les Leçons précédentes ; on ne peut douter qu'elle ne péſe ſur nous & ſur tout ce qui s'y trouve plongé comme nous : on en a douté cependant, ou plutôt, on a été très long-tems ſans y faire attention. Nous avons dit ailleurs * de quelle maniére enfin l'on s'en eſt convaincu, & comment la connoiſſance du poids de l'atmoſphére a éclairé les Phyſiciens ſur pluſieurs phénoménes qui en réſultent.

* *Tome I. p. 290. & ſuiv.*

XI. LEÇON.

Mais cette pésanteur est celle d'un fluide ; elle doit donc croître & diminuer selon la hauteur des colonnes & la largeur de leur base ; c'est aussi selon cette proportion qu'elle agit, comme on l'a déja vû dans la septiéme Leçon, où nous avons rapporté l'origine du barometre, ses principaux usages, & l'épreuve qu'on en fit dans les différentes stations de la montagne du Pui de Dome en Auvergne : je rapporterai encore ici une expérience du même genre, & d'une exécution plus facile ; qui me donnera occasion d'exposer ce qu'il me reste à dire sur cette matiére.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut faire choix de quelque lieu élevé & accessible, comme d'une tour, d'un clocher, ou de quelque autre édifice, dont on puisse aisément mesurer la hauteur perpendiculaire, & se munir de deux barométres bien semblables ; c'est-à-dire, que dans le même lieu le mercure soit toujours dans l'une & dans l'autre à des hau-

teurs pareilles. On laisse un de ces instrumens au pied de la tour avec un Observateur qui examine attentivement, s'il n'arrive point de variation à la hauteur du mercure, pendant qu'on porte l'autre en haut.

XI. LEÇON.

EFFETS.

1°. A mesure qu'on s'éléve avec le barométre, le mercure s'abbaisse dans le tube, comme je l'ai déja dit * en rapportant l'expérience de M. Pascal, exécutée au Puy de Dome par M. Perrier.

* *Tom. II pag. 300.*

2°. Si, lorsque le mercure s'est abbaissé d'une ligne, on mesure la hauteur de l'endroit où l'on fait cette premiére station, on trouve qu'elle est d'environ 12 toises.

3°. Si l'édifice ou la nature du lieu permet que l'on s'éléve davantage à des hauteurs connuës ou mesurables, on trouve que les stations suivantes, qui se font à chaque fois qu'on observe une ligne d'abaissement au mercure, sont toujours à-peu-près de 12 toises les unes au-dessus des autres.

4°. On remarque que les hauteurs perpendiculaires de toutes ces sta-

XI. LEÇON.

tions . dont chacune répond à une ligne d'abbaissement du mercure , ſont d'autant plus petites que l'air péſe d'avantage dans le tems de l'expérience, ſoit par le peu d'élévation du lieu où l'on opére , ſoit par l'état actuel de l'atmoſphére.

5°. Si l'on répéte cette épreuve dans des lieux qui ne ſoient que médiocrement éloignés les uns des autres , & dans des circonſtances qui rendent la preſſion de l'atmoſphére à peu-près ſemblable, on trouve auſſi à-peu-près les mêmes réſultats ; mais lorſque les diſtances ſont très-grandes , comme de 400 ou 500 lieuës , on peut s'attendre à des différences aſſez conſidérables.

EXPLICATIONS.

L'atmoſphére ayant plus de hauteur à compter du rez - de chauſſée d'une tour, ou du pied d'une montagne, qu'elle n'en a à toutes les ſtations que l'on fait en montant , ſon poids eſt auſſi plus grand ; & s'il eſt capable de ſoutenir d'abord 27 pouces $\frac{1}{2}$ de mercure dans chaque barométre , celui des deux que l'on porte plus haut ſe trouve ſous une co-

lonne d'air plus courte, qui, par conséquent soutient moins de mercure. Cette diminution de poids dans la colonne de l'atmosphére ne peut être attribuée qu'à son raccourcissement ; car le barométre de comparaison, qu'on a laissé dans le lieu le plus bas, & qui soutient une colonne entiére, soit qu'il varie, ou qu'il ne varie pas pendant l'expérience, se trouve toujours plus haut que l'autre, & suivant les proportions marquées dans les résultats ci dessus.

Par le second & le troisiéme de ces résultats, on voit que chaque ligne d'abbaissement du mercure dans le barométre répond environ à 12 toises de hauteur perpendiculaire dans l'atmosphére : ce rapport nous donne l'air plus pésant que nous ne l'avons estimé dans la Leçon précédente ; car nous avons dit que sa densité ou pesanteur spécifique est à celle de l'eau, à-peu-près comme l'unité est à 900 ; & comme le mercure pése 14 fois autant que l'eau, il suit qu'une ligne de mercure équivaut à 14 fois 900 lignes d'air dont la somme 12600 fait 15 toises 4 pieds 6 pouces & 8 lignes,

XI. LEÇON.

au lieu de 12 toises dont nous venons de faire mention dans les résultats précédens.

Mais il faut observer aussi que de tous ceux qui se sont appliqués à cette recherche par des expériences soigneusement faites en differens tems & en différens lieux, il en est bien peu qui s'accordent à conclure le même rapport. M. Cassini, après avoir porté le baromètre sur la montagne de Notre-Dame de la Garde près de Toulon, évaluë à 10 toises & 5 pieds la hauteur de l'air qui soutient une ligne de mercure. M. de la Hire le pere la trouva de 12 toises, par des épreuves qu'il fit sur le Mont-Clairet, dans le voisinage de la même Ville; ce même Académicien la jugea de 12 toises 4 pieds à Meudon, & de 12 toises 2 pieds 8 pouces à Paris. Selon les observations de M. Picart faites au Mont Saint Michel, une ligne de différence dans la hauteur du mercure au baromètre, répond à 14 toises 1 pied & 4 pouces d'air. Enfin M. Vallerius *, sçavant Suédois, qui répéta ces expériences dans son pays après avoir observé les diverses

* *Hist. de l'Acad. des Scienc. 1712 p. 3. & suiv.*

hauteurs d'un baromètre qu'il descendit d'abord dans une mine très-profonde, & qu'il porta ensuite au sommet d'une montagne voisine, compta pour chaque ligne de mercure 10 toises 1 pied & 4 lignes de hauteur dans l'atmosphére. M. de la Hire * le fils attribuë toutes ces différences à deux causes principales : 1°. à des couches de vapeurs, qui peuvent regner dans certaines parties de l'atmosphére, & qui en augmentent pour un tems la pésanteur ; ce qui paroît très-vraisemblable : 2°. à la situation des lieux où l'on fait ces expériences, ou à la pésanteur actuelle plus ou moins grande de l'atmosphére ; & en effet, on voit par le quatriéme réfultat que la portion d'une colonne d'air qui répond à une ligne de mercure, est d'autant plus grande ou plus petite, que cet air est plus ou moins dense ; & la densité ou le poids d'un fluide compressible, croît à mesure qu'il est plus chargé, soit par sa propre matiére amoncellée, soit par des parties étrangéres qui s'y mélent.

XI. LEÇON.

* *Mém. de l'Acad. des Sciences*, 1712. *pag.* 114.

On peut ajouter encore pour troisiéme raison, (& c'est peut-être la

XI. LEÇON.

plus forte,] on peut, dis-je, ajouter qu'il est très-difficile d'estimer au juste chaque ligne d'abbaissement du mercure dans le baromètre; cependant les plus petites erreurs dans cette estimation sont d'une grande conséquence, lorsqu'il s'agit de juger avec exactitude de la hauteur d'une colonne d'air correspondante. Car puisque le mercure ne s'abbaisse que d'une ligne pour un retranchement d'environ 12 toises fait à la colonne d'air, on peut aisément se tromper de quelques toises sur celle-ci; il suffit pour cela qu'il y ait un mécompte d'un $\frac{1}{12}$ de ligne dans l'observation du baromètre. Ceux qui connoissent bien cet instrument, conviendront sans peine que l'observateur le plus attentif peut fort bien commettre de pareilles fautes non-seulement à cause de quelque défaut de mobilité qui peut empêcher le mercure de se remettre dans un parfait équilibre avec l'atmosphère après ses balancemens, mais encore à cause de la convexité de sa surface & des petites réfractions occasionnées par l'épaisseur du verre, & qui peuvent tromper l'œil.

XI. LEÇON.

Puiſque l'atmoſphére eſt un fluide compreſſible, on ne peut pas ſuppoſer que ſa denſité ſoit uniforme ; on doit penſer au contraire, que les couches ſupérieures, péſant ſur celles qui ſont au-deſſous, reſſerrent & condenſent de plus en plus leurs parties ; & conſéquemment à ce principe, les différentes ſtations où l'on obſerve en montant, une ligne d'abbaiſſement dans le mercure du barométre, doivent ſe trouver toujours de plus en plus éloignées les unes des autres. C'eſt ce qu'on obſerve en effet : mais juſqu'à une hauteur de 1000 ou 1200 toiſes au-deſſus du niveau de la mer, les différences ſont peu conſidérables ; apparemment parce que la grande quantité de vapeurs groſſiéres dont l'air eſt chargé dans cette baſſe région, & le grand poids qui le preſſe, rendent ſa denſité preſque uniforme. M^rs. Caſſini & Maraldi, après un grand nombre d'expériences faites ſur diverſes montagnes dont ils avoient meſuré géométriquement les hauteurs, jugerent que les portions retranchées d'une colonne de l'atmoſphére pour pluſieurs

XI. LEÇON.

lignes d'abbaiſſement du mercure au baromètre, croiſſent ſuivant cette progreſſion, ſçavoir, que ſi la premiére ligne de mercure répond à 61 pieds d'air; il y en a pour la ſeconde 62, pour la troiſiéme 63, & ainſi de ſuite. Mais ils ont penſé avec raiſon, que cette proportion ne continuë point au-delà d'une démie lieuë au-deſſus du niveau de la mer; car alors, l'air étant plus pur, ſon reſſort eſt plus libre, & ſes différens degrés de denſité ne dépendent preſque plus que de la preſſion des couches ſupérieures.

APPLICATIONS.

Si l'on a péſé la colonne de mercure d'un baromètre dont le tuyau ſoit parfaitement cylindrique; on ſçait auſſi-tôt quel eſt le poids de la colonne totale de l'atmoſphére qui la tient en équilibre; & l'aire du cercle qui fait ſa baſe eſt un eſpace connu qu'on peut multiplier autant de fois qu'on voudra, pour ſçavoir quelle eſt la preſſion de l'atmoſphére, ſur un eſpace donné à la ſurface

de la terre ; un exemple rendra ceci plus intelligible.

XI. LEÇON.

Supposons que le tube du baromètre ait trois lignes de diamétre intérieurement, & que le mercure qu'il contient pése une livre ; cela m'apprend que dans le même lieu où est le baromètre, tout espace circulaire qui a trois lignes de diamétre, comme l'ouverture du tuyau, se trouve chargé d'une colonne d'air qui pése une livre ; & cette pression se fait contre une porte de même que sur une table ; parce que c'est ici le poids d'un fluide, qui agit dans toutes sortes de directions, comme nous l'avons enseigné en traitant de l'hydrostatique.

Supposons maintenant qu'on voulût sçavoir combien pése l'atmosphére sur un espace circulaire d'un diamétre trois fois plus grand que le précédent ; ce dernier espace est 9 fois plus étendu que le premier, car les cercles sont entr'eux comme les quarrés de leurs diamétres, & le quarré de 3 est 9. Je dirai donc : Puisqu'une colonne de l'atmosphére, dont la base à trois lignes de diamétre, pése

XI. LEÇON.

une livre ; une autre colonne qui s'appuye sur un espace 9 fois plus grand pése 9 livres ; & l'on pourra sçavoir ainsi quelle est la pression de l'atmosphére, sur tout espace dont on connoîtra l'étenduë.

Quelques curieux fondés sur ce principe, se sont proposé de chercher quel est le poids de toute l'atmosphére ; mais ce qu'ils ont pû sçavoir à cet égard, tient à des hypothéses dont les unes visiblement fausses, les autres très-incertaines, ont rendu leurs laborieux calculs presqu'inutiles. Et en effet quelle connoissance peut-on tirer d'un pareil travail, si l'on ignore quelle est au-juste l'étenduë de la surface de la terre ; si l'on néglige de tenir compte de la hauteur de ses inégalités ; si l'on considére l'atmosphére, comme un fluide d'une densité uniforme dans ses parties semblables ; si l'on n'a point égard aux effets de la force centrifuge qui résulte du mouvement de la terre sur son axe, &c ? On voit assez combien il seroit difficile de saisir avec justesse tous ces élémens ; mais cette question n'étant heureu-

sement que de pure curiosité, la solution qu'on pourroit se flatter d'en avoir, ne mérite pas la peine qu'elle exige.

XI. LEÇON.

On fera du baromètre une application plus heureuse & plus utile, si l'on s'en sert pour mesurer la hauteur des montagnes; car suivant les expériences qui furent faites par MM. Cassini Maraldi, & Chaselles en Auvergne, en Languedoc, & en Roussillon * il paroît que depuis le niveau de la mer jusqu'à une demi-lieuë de hauteur, on peut compter environ 10 toises d'élévation pour chaque ligne d'abbaissement du mercure, en ajoutant un pied à la premiére dixaine, 2 pieds à la seconde, 3 pieds à la troisiéme, ainsi de suite.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc. 1703. page 229. & suiv.*

On voit bien que pour mettre ce moyen en usage, il faut sçavoir à quelle hauteur se tient actuellement le mercure au bord de la mer pendant que l'on opére; & c'est ce que l'on peut sçavoir facilement par un baromètre de comparaison qu'on y laisse avec un Observateur attentif. Il n'est pas même besoin que ce baromètre & cet Observateur soient au-

XI. LEÇON.

bord de la mer : il suffit que l'observation se fasse dans un lieu dont on connoisse l'élévation au dessus du niveau de la mer ; & c'est ce qu'il n'est point rare de trouver maintenant dans presque tous les Etats. La salle de l'Observatoire Royal de Paris, par exemple, où l'on fait perpétuellement les observations du baromètre, & dont on tient un état tous les ans, est de 45 toises au-dessus de la Méditerranée, & de 46 au-dessus du niveau de l'Océan ; & le mercure s'y tient toujours pour cette raison, environ 4 lignes plus bas qu'on ne l'observe au bord de ces deux mers.

Je suppose donc que l'on ait porté un baromètre au sommet d'une montagne dont l'hauteur est inconnuë ; si l'on y trouve le mercure 10 lignes au-dessous du terme où il seroit sur le bord de la mer, en comptant d'abord 10 toises pour chaque ligne de mercure, ou aura 100 toises, auxquelles ajoutant un pied pour la premiére dixaine, 2 pieds pour la seconde, 3 pieds pour la troisiéme, & ainsi de suite jusqu'à la dixiéme inclusivement, on aura encore 55 pieds qui

qui font neuf toises & un pied ; ainsi l'on conclura 109 toises & un pied, pour la hauteur de la montagne au-dessus du niveau de la mer. XI. LEÇON.

Il est vrai que cette méthode ne donne point des mesures précises, & qu'en l'employant on ne peut guéres compter que sur des à-peu-près : 1 ment, parce que les expériences sur lesquelles elle est fondée, ayant varié dans leurs résultats, ne déterminent pas avec précision la hauteur qui répond à une ligne de mercure ; en second lieu, parce qu'il est très-difficile de juger avec toute l'exactitude qui seroit nécessaire, de combien le baromètre a baissé lorsqu'il est parvenu au plus haut de la montagne ; & enfin, parce que pendant l'opération, il peut arriver quelque changement dans la partie de l'atmosphère qui couvre le lieu où l'on opère. Mais combien y a-t'il d'occasions où les mesures géométriques ne peuvent être employées, & où l'on peut se contenter de connoître ces hauteurs à 10 ou 12 toises près ?

Une des vûës que l'on pourroit avoir encore en faisant usage du ba-

XI. LEÇON.

romètre, ce seroit de connoître l'étenduë de l'atmosphère, en déterminant la hauteur de cette colonne d'air qui soutient celle du mercure, & dont nous avons appris ci-dessus à mesurer le poids; il semble qu'on en pourroit aisément venir à bout, si l'air de l'atmosphère, comme de l'eau ou comme toute autre liqueur, étoit partout d'une densité uniforme; car en supposant qu'une ligne de mercure répondit toujours à 10 toises de cette colonne, elle devroit avoir autant de fois 10 toises que l'on compte de lignes dans 28 pouces, hauteur moyenne du baromètre au niveau de la mer. Or il y a 336 lignes dans 28 pouces, ce qui donneroit 3360 toises pour la hauteur totale de l'atmosphère: mais le fluide dont il s'agit est une matière compressible; & par cette raison, les parties semblables de cette colonne étant prises les unes au-dessus des autres, ne doivent pas péser également, ou (ce qui est la même chose,) toutes ces portions, pour être de même poids, doivent avoir des longueurs différentes; les plus basses seront plus courtes que celles qui sont au-dessus.

Cette difficulté cependant n'empêcheroit pas qu'on ne vînt à bout d'évaluer par cette méthode la hauteur de l'atmosphére, si l'on sçavoit au juste dans quelle progression l'air se raréfie, à mesure que sa masse diminuë, & qu'il se trouve moins chargé par son propre poids : si l'on étoit certain, par exemple, que sa densité augmente & diminuë comme les poids qui le compriment, & que cette regle établie par M. Mariotte peut être suivie à toutes sortes de hauteurs. Mais bien loin de pouvoir compter sur cette supposition, on sçait, par un nombre suffisant d'observations & d'expériences, que l'air ne se raréfie & ne se comprime ainsi que dans une densité moyenne, & que dans les cas extrêmes il suit une autre progression que l'on ne connoît point assez, & qui, telle qu'elle puisse être, doit varier suivant certaines circonstances. Plus ou moins de chaleur ou de pureté dans une région où nos observations ne peuvent s'étendre, suffit pour causer des changemens assez considérables à la pésanteur de l'atmosphére, & à sa hauteur : on ne XI. Leçon.

XI. LEÇON.

peut, sans incertitude, juger de l'une par l'autre, (je veux dire, de la hauteur par le poids,) quand on ignore quel est l'état actuel de l'air dans toute son étendue.

Un corps à ressort que l'on a comprimé fortement avec un certain nombre de poids égaux, lorsqu'on vient à le décharger peu-à-peu, se déploye par des quantités qui vont toujours en augmentant, & qui suivent d'abord une progression assez régulière; mais sur la fin, lorsqu'on ôte les derniers poids, le développement ou l'extension du ressort se fait dans des rapports beaucoup plus considérables. Comme l'air est un fluide élastique, on doit présumer que dans les hautes régions, où il est bien moins chargé par son propre poids, que partout ailleurs où nous pouvons faire des épreuves, il s'étend aussi beaucoup davantage, ce qui doit donner à l'atmosphére une hauteur plus grande qu'elle n'auroit, si nous en devions juger par les quantités qui répondent ici-bas à une ligne d'abbaissement du mercure dans le barométre.

D'ailleurs on doit faire attention,

qu'à une plus grande distance du centre de la terre, la pésanteur diminuë, & la force centrifuge augmente : ces deux causes concourent encore à diminuer le poids de l'air, & à faciliter sa raréfaction dans la partie la plus élevée de l'atmosphére. XI. LEÇON.

De ces différentes considérations, & des expériences faites avec le barométre il suit, que notre atmosphére ne peut pas avoir moins que 6 lieuës d'étenduë en hauteur ; il suit aussi, (& c'est l'opinion commune] que cette même hauteur peut être de 15 ou 20 lieuës : quelles différences ! & combien nous sommes encore peu instruits sur cette question !

M. de la Hire touché de cette incertitude, & désirant une solution moins vague, se proposa de connoître la hauteur de l'atmosphére, en faisant usage d'une méthode indiquée par Kepler, mais qu'il perfectionna & sçut employer plus heureusement que cet Astronome. Ce qu'on appelle *crépuscule*, cette lumiére qui commence le jour avant que le soleil soit levé, & qui le fait durer encore quelque tems après que cet astre est couché,

XI. LEÇON.

est un effet de la réflexion causée par l'atmosphére aux rayons qui sans cela, passeroient au-dessus de cette partie de la terre que nous habitons, & ne l'éclaireroient point : cette lumiére réfléchie qu'on apperçoit sensiblement dans le climat de Paris, lorsque le soleil n'est pas plus bas que 18 dégrés au-dessous de l'horison, commenceroit plus tard le matin, & finiroit plutôt le soir ; si l'atmosphére avoit moins d'étenduë, parce qu'alors les rayons de lumiére pourroient partir d'un point plus élevé vers l'horizon, sans rencontrer cette masse fluide qui les renvoye vers la terre. Il y a donc un rapport nécessaire entre la durée des crépuscules & la hauteur de l'atmosphére ; & comme la premiére de ces deux choses est connuë ou facile à connoître, dans toutes les positions de la sphére, on voit qu'elle peut généralement conduire à découvrir l'autre. En effet M. de la Hire & M. Halley, en maniant cette méthode avec une adresse & des précautions dont il faut lire le détail dans leurs propres ouvrages *, ont conclu avec assez de

* *Mém. de l'Acad. des Scien.* 1713. p. 54.

vraisemblance la hauteur de l'atmosphère de 15 ou 16 lieues ; je dis avec assez de vraisemblance, & non avec certitude, parce que leur doctrine tient encore à quelques hypothèses, qui pourroient bien n'être pas précisément d'accord avec la nature. XI. LEÇON.

Si l'on connoissoit bien la hauteur de l'atmosphère pour chaque climat, on sçauroit quelle est la figure de toute sa masse ; car une suite de colonnes, qui depuis l'équateur jusqu'aux poles, seroient rangées dans un même plan, formeroient, par leurs extremités, une courbe d'où resulteroit la solution du problème. Mais comme il reste des doutes sur la premiere de ces deux questions, la seconde demeure encore indécise, au-moins pour ceux qui ne veulent se rendre qu'à des raisons tout-à-fait évidentes.

Sur les observations de M. Richer à la Cayenne, & sur celles qui furent faites à-peu-près dans les mêmes tems avec le barometre en différens climats, on conjectura que la hauteur de l'atmosphère augmentoit de plus en plus, depuis l'équateur jus-

XI. LEÇON.

qu'aux pôles, parce que le mercure se tient plus haut dans les pays septentrionaux que sous la ligne équinoxiale & aux environs. Suivant cette conjecture l'atmosphére formeroit donc, avec la terre qu'elle enveloppe, un spheroïde allongé vers les pôles, & son épaisseur seroit moindre à l'équateur que par-tout ailleurs.

Mais sans donner atteinte aux observations du barométre, qui ne se sont point démenties depuis, & qui ont été même reïterées en dernier lieu avec toute l'exactitude possible, ne pourroit-on pas conjecturer tout autrement qu'on n'a fait touchant la figure extérieure de l'atmosphére? en jugeant de ses hauteurs, par ses différens dégrés de pression, a-t'on pû négliger d'avoir égard à la force centrifuge qui résulte du mouvement de la terre sur son axe, & qui est commun sans doute à l'air qui l'environne? une pareille considération a fait conclure que les parties de notre globe, pour être en équilibre entr'elles, avoient dû s'arranger sous la forme d'un spheroïde plus élevé à l'équateur qu'aux pôles, comme nous l'avons expliqué

pliqué ailleurs *. Ne peut-on pas dire la même chose & avec plus de raison encore d'un fluide plus disposé par sa nature à se prêter aux loix de la statique, & à celles des forces centrales? Il y a donc beaucoup d'apparence que l'air est plus haut entre les deux tropiques qu'il ne l'est par-tout ailleurs, parce que cette partie de l'atmosphére tourne avec plus de vîtesse, & que la force centrifuge y agit plus fortement & plus directement contre la pésanteur.

XI. LEÇON.

* Tome II. p. 150.

On peut ajoûter aussi que sous la Zone torride, où il régne une chaleur plus grande & plus continuelle, au moins vers la surface de la terre, l'air doit y être plus raréfié, & que les colonnes par conséquent doivent augmenter en longueur pour être en équilibre avec celles d'un autre climat. Si le mercure du barométre s'y tient plus bas que dans le nord, on ne peut point douter que l'air n'y soit moins pésant; mais cette moindre pésanteur vient-elle de ce que les colonnes sont moins hautes, ou bien doit-on s'en prendre aux causes que je viens d'exposer? le dernier parti

me paroît le plus vraisemblable.

XI. LEÇON.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut mêler de la glace pilée ou de la neige avec du sel dans un vase de verre ou de métal fort mince, qui soit bien essuyé en-dehors, & que l'on tient environ un quart d'heure dans un lieu frais.

EFFETS.

Tous les dehors du vaisseau se couvrent peu-à-peu d'une espêce de frimas ou de gélée blanche assez semblable à celle qu'on voit le matin sur les toits & à la surface de la terre, vers la fin de l'automne ou au bord de l'hyver.

EXPLICATIONS.

Le mélange de glace & de sel refroidit considérablement les parois du vase qui le contiennent : ce refroidissement condense aussi-tôt l'air extérieur le plus prochain ; & les particules d'eau dont cet air est chargé, étant condensées aussi par la même

XI. LEÇON.

cauſe, s'appliquent & ſe gélent contre le vaſe; à la premiére couche il s'en joint une autre, à celle-ci une troiſiéme, &c. ce qui fait que cette congélation extérieure s'épaiſſit plus ou moins, ſelon la durée & l'intenſité du froid artificiel qui la cauſe.

Si l'on étoit tenté de croire que cet effet n'eſt qu'une tranſpiration de cē qui eſt dans le vaſe, on ſeroit bientôt déſabuſé de cette erreur en goûtant la glace extérieure; car on la trouveroit inſipide & bien différente de ce qu'elle devroit être, ſi elle ſe formoit d'eau ſalée.

Pour diſſiper entiérement ce préjugé, avant que de refroidir mon vaſe avec le mélange de ſel & de glace, je le place dans un autre vaſe de verre, & j'empêche que l'air extérieur ne puiſſe entrer dans le peu d'intervalle qui ſe trouve entre lui & l'autre; & alors quel que ſoit le refroidiſſement, je n'apperçois aucune congélation autour du vaſe enfermé: celle qu'on y voit lorſqu'il ne l'eſt pas, ne peut donc être attribuée qu'à l'humidité de l'air extérieur.

XI. LEÇON.

III. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 1. repreſente un ballon de verre bien tranſparent, de 9 à 10 pouces de diamétre, qui n'a jamais été rempli d'aucune liqueur & qui eſt joint avec le plus grand récipient de la machine pneumatique par un canal garni d'un robinet, de ſorte qu'on peut ouvrir & fermer la communication entre les deux vaiſſeaux : la clef du robinet eſt percée de façon que, quand le récipient & le ballon ne communique point enſemble, celui-ci communique avec l'air extérieur : le canal étant donc fermé, on épuiſe l'air du récipient, & l'on ouvre enſuite la communication entre le ballon & lui.

EFFETS.

Si le ballon eſt placé entre la lumiére & l'œil du ſpectateur, on y apperçoit une vapeur légére qui tournoye, & qui ſe précipite vers le bas du vaiſſeau ; s'il rentre de nouvel air dans le ballon, & qu'on ouvre de

nouveau la communication, on voit aussi-tôt renaître la vapeur; & cet effet arrive autant de fois qu'on ouvre le robinet, pourvû que l'air soit encore suffisamment raréfié dans le récipient.

EXPLICATIONS.

Toutes les fois qu'on ouvre une communication entre deux capacités, dont l'une est vuide d'air, l'autre en étant pleine, ce fluide s'étend & se partage à toutes les deux, suivant le rapport qu'elles ont entr'elles, comme on l'a dit en parlant des fonctions de la machine pneumatique; c'est pourquoi, dans le ballon de l'expérience précédente, l'air se raréfie considérablement, dès que le vaisseau vient à communiquer avec le récipient que l'on a évacué. Mais comme les petits corps étrangers dont cette masse d'air est chargée ne sont pas de nature à s'étendre comme elle, ils demeurent isolés, ils sont abandonnés à leur propre poids, & au mouvement de l'air qui se porte de toutes parts vers le canal de commu-

nication, ce qui les fait tournoyer en tombant en forme de vapeur.

XI. LEÇON.

Le même effet s'apperçoit toujours plus ou moins à tout récipient où l'on commence à faire le vuide ; & j'aurois pû me contenter de rappeller ce fait si familier à ceux qui font usage de la machine pneumatique, pour prouver que l'air est toûjours mêlé de matiéres étrangéres ; mais on auroit pû m'objecter que cette vapeur qui fait ici le fond de ma preuve, n'est dûë qu'à l'humidité du cuir moüillé qui couvre la platine, & sur lequel on applique le vaisseau : je dissipe ce soupçon quand je la fais voir dans un ballon bien net, & dans lequel il n'entre autre chose que l'air qui vient immédiatement de l'atmosphére : quiconque ne voudra pas se rendre à cette raison, en trouvera beaucoup d'autres encore dans un écrit * où j'ai traité exprès de cette matiére.

* *Mem. de l'Acad. 1740. pag. 243.*

On pourroit demander pourquoi les corpuscules qui forment la vapeur dont il s'agit, n'étant point visibles dans l'air de l'atmosphére, le deviennent aussi-tôt que ce fluide vient à se raréfier.

XI. LEÇON.

Il y a toute apparence que ces petits corps, dès qu'ils cessent d'être soutenus, retombent les uns sur les autres & s'unissent pour former des masses plus grossiéres, & par conséquent plus propres à être apperçûës.

D'ailleurs c'est un fait que nous examinerons en traitant de l'optique, que la transparence des corps diminuë, à mesure que leurs parties deviennent plus denses les unes que les autres : or quand cette masse fluide qui remplit le ballon vient à se raréfier, il n'y a que la densité de l'air proprement dit, qui diminuë; celle des autres matiéres qui s'y trouvent mêlées augmentent au contraire, & ce double effet occasionne sans doute cette petite opacité qu'on apperçoit, & qui ne manque pas de disparoître aussi-tôt qu'une raréfaction suffisante a donné lieu à l'air de se purifier, en se désaisissant entiérement de ce qu'il avoit d'étranger.

APPLICATIONS.

On distingue communément en deux classes toutes les matiéres qui s'élévent de la surface de la terre dans

XI. LEÇON.

l'atmosphère; l'une comprend sous le nom de *Vapeurs* tout ce qui tient de la nature de l'eau; dans l'autre on range toutes les parties salines, sulfureuses, grasses & spiritueuses, & c'est ce qu'on appelle *Exhalaisons*.

Toutes ces substances, tant celles qui s'exhalent, que celles qui s'évaporent, étant différemment mélangées ou modifiées, prennent des formes & produisent des effets qui varient beaucoup, & que l'on connoît sous le nom de *Météores*. On en peut distinguer de trois sortes; sçavoir ceux qui sont produits par les vapeurs seules & que l'on appelle météores *aqueux*, comme le broüillard, les nuages, la pluye, la grêle, le frimas, &c. ceux qui font naître des exhalaisons qui s'allument, & que l'on nomme météores *enflammés*; tels sont le tonnerre, les éclairs, les feux folets, &c. & ceux qui résultent des vapeurs & des exhalaisons combinées avec la lumiére, & qu'on peut appeller météores *lumineux*, comme l'arc-en-ciel, les parhélies, &c.

Pour ne point faire une trop longue digression, je me contenterai de par-

courir ici les météores de la premiére espêce ; & je remettrai à parler des autres dans les Leçons où je traiterai du feu & de la lumiére. XI. LEÇON.

Pendant le jour, les rayons du soleil échauffent en même tems & la terre & l'air qui l'environne. Lorsque cet astre est couché, la chaleur qu'il a fait naître se rallentit peu-à-peu ; mais elle se conserve plus-long-tems dans les corps qui ont plus de matiére, de sorte que pendant la nuit, la terre & les eaux sont communement plus chaudes que l'air de l'atmosphére. Alors la matiére du feu, qui tend à se répandre toujours uniformément à la maniére des autres fluides, passe de la terre dans l'air, & emporte avec elle les parties les plus subtiles des corps terrestres, qu'elle détache & qu'elle anime par son mouvement. Cette cause particuliére se joignant à celles dont nous avons fait mention * en parlant de l'élévation des vapeurs en général, fait que la partie de l'atmosphére la plus voisine de la terre reçoit une plus grande quantité de ces parties évaporées, de-là vient cette humidité qu'on apperçoit sensible-

* Tome II. p. 110. & suiv.

XI. LEÇON.

ment sur les habits, lorsqu'on se promène à la campagne pendant les soirées fraîches du printems & de l'automne, & que l'on nomme *le serein*. Ces sortes de vapeurs s'attachent plus promptement & en plus grande quantité aux taffetas & aux toiles fines qu'aux grosses étoffes, parce que celles-ci prenant plus lentement que les autres la température de l'air qui se refroidit, le feu qui continuë de s'en exhaler emporte avec lui les particules d'eau qui se présentent à leur surface.

Le serein dure toute la nuit, dans les saisons & dans les climats où la terre s'échauffe suffisamment pendant le jour. Au soleil levant, la chaleur commence à renaître dans l'atmosphére & l'air, en se dilatant, se désaisit pour l'ordinaire de ces vapeurs, trop subtiles peut-être pour remplir ses pores, ou bien elles suivent la matiére du feu à laquelle elles sont encore unies, & qui retourne alors vers la terre. Les vapeurs qui retombent ainsi, s'appellent *rosées*; elles sont plus abondantes aux champs qu'à la ville, & dans les campagnes couver-

tes d'arbres & de plantes que dans les lieux arrides ; car il en tombe à proportion de ce qu'il s'en eſt élevé.

Il ne faut pas confondre cependant cette roſée qui tombe de l'air, avec celle qu'on remarque le matin ſur les plantes. Ces gouttes qu'on voit à leurs tiges & ſur leurs feüilles, ſont des effets de la tranſpiration ; & l'on peut aiſément s'en convaincre, ſi l'on couvre un choux ou un pied de laitue pendant la nuit ; car on y verra le matin la même roſée qu'on a coûtume d'y voir lorſque ces plantes demeurent découvertes. Les particules d'eau qui forment ces gouttes viennent de la terre comme les autres ; & ſont élevées par la même cauſe, mais au lieu d'en ſortir immédiatement comme par-tout ailleurs, elles enfilent des tiges, des branches, des feüilles, leur mouvement ſe ralentit, & elles demeurent pluſieurs enſemble à l'orifice des petits canaux par leſquels elles tranſpirent.

Les Empiriques & les Alchimiſtes ont attribué de grandes vertus à la roſée ; mais il paroît que toutes les merveilles qu'ils en ont annoncées

XI. LEÇON.

n'ont pas plus de réalité qu'une infinité de chimères dont ils ont coûtume de repaître leur imagination, & la crédulité des ignorans.

Plusieurs Auteurs ont dit avec plus de fondement & de vraisemblance, que la rosée peut nuire aux animaux que l'on méne paître trop matin, & qu'elle peut diminuër la fécondité des terres lorsqu'elle est trop abondante: car quoique cette vapeur ne soit pour la plus grande partie que de l'eau, on ne peut nier qu'elle n'emporte avec elle d'autres substances qui varient, soit pour la quantité, soit pour la qualité, selon les lieux, selon les degrés de chaleur, & selon les plantes d'où elle transpire. Ce qui prouve bien que la rosée n'est pas de l'eau pure, c'est qu'elle se corrompt, & qu'elle dépose lorsqu'on la garde dans des bouteilles. On peut attribuer aussi à la rosée, ou au serein qui tombe, ces couches légéres de matiéres grasses & sulfureuses qui se font remarquer par leurs couleurs d'Iris à la surface des eaux dormantes après plusieurs jours d'un tems serein, pendant lequel on ne voit tomber du ciel rien

autre chose qui puisse causer cet effet.

XI. LEÇON.

Il y a même des cas où la partie aqueuse de la rosée n'est pas la plus abondante, alors ce qui exsude de la plante ou de l'arbre, est un suc qui s'épaissit à mesure que l'humidité s'évapore; telles sont certaines gommes & quelques espèces de mannes dont la médecine fait usage.

Or puisque la rosée est une vapeur qui contient un extrait des matières minérales ou végétales d'où elle sort, il n'est point douteux qu'elle ne puisse avoir des qualités bonnes ou mauvaises, selon la nature des principes dont elle est chargée. Mais comme, en différens lieux il naît différentes plantes, que la nature y varie de même ses autres productions, & que la chaleur qui anime les exhalaisons n'est ni toujours ni par-tout également forte, on doit présumer que la rosée & le serein changent de qualités suivant le tems & les lieux, & que les effets dont l'une ou l'autre seroit capable en telle saison ou en tel climat, n'auroient pas lieu ailleurs, ou dans un autre tems. A Rome, & dans ses environs, par exemple, il

XI. LEÇON.

est dangéreux, dit-on, de prendre l'air le soir ; à Paris, on le peut faire impunément : c'est qu'ici le serein n'est presque autre chose qu'un peu d'humidité, au lieu qu'en Italie cette vapeur est chargée apparemment d'exhalaisons nuisibles, qui tiennent de la nature du terrain, & dont la quantité répond au grand chaud du climat ; ainsi l'on ne peut guéres prononcer en général sur cette matiére.

Vers la fin de l'automne, quand les nuits commencent à être longues, la terre a plus de tems pour se réfroidir, & très-souvent sa surface & les corps qui y sont isolés sont assez froids, pour glacer les particules d'eau dont la rosée tombante a coutume de les couvrir ; alors au lieu d'humidité on apperçoit sur le gazon, sur les toits des bâtimens, &c. une couche de petits glaçons fort menus que l'on nomme *Gelée blanche*, à cause de sa couleur, & qui ne manque pas de se fondre & de se dissiper dès que le soleil commence à faire sentir sa chaleur.

La rosée, ou la gélée blanche qui a été fonduë, se dissipe de deux maniéres ; elle rentre dans les terres ari-

des & dans les corps poreux qui ont plus de disposition à l'absorber que l'air de l'atmosphére ; mais le plus souvent elle s'éleve de nouveau, soit qu'une médiocre raréfaction mette l'atmosphére en état de la pomper, soit qu'un vent fort doux y transporte un air plus sec que celui sous lequel elle étoit.

Assez souvent quand la rosée remonte, elle diminuë la transparence de l'atmosphére, parce qu'alors les parties de cette vapeur sont beaucoup plus grossiéres, & qu'elles s'élévent plus lentement. Ces deux causes qui naissent l'une de l'autre, doivent nécessairement rendre l'air opaque : 1°. parce qu'un corps transparent l'est d'autant moins que ses parties différent davantage par leur densité, comme nous le prouverons par la suite : 2°. parce que la vapeur qui monte lentement, s'étend moins & devient plus dense.

Mais cette opacité que fait naître la rosée qui remonte, ne s'empare presque jamais d'une grande portion de l'atmosphére ; elle se cantonne, pour ainsi dire, & devient plus forte

XI. LEÇON.

dans les lieux bas & humides, & au-dessus des prairies que par-tout ailleurs, parce que, comme nous l'avons déja dit, la rosée retombe à proportion de ce qu'il s'en éléve; & si le tems est calme, elle doit être plus abondante le matin, aux endroits qui en fourniſſent une plus grande quantité pendant la nuit. C'est par cette raiſon ſans doute qu'on ne voit guéres au-deſſus des Villes & des lieux arides l'atmoſphére obſcurcie par la roſée qui remonte, mais bien plus ſouvent au voiſinage des riviéres, des étangs & des herbages.

Un préjugé généralement reçû & fondé ſur les apparences, avoit établi touchant la roſée & le ſerein, des idées bien fauſſes qui ont été diſſipées dans ces derniers tems par MM. Gerſten, Muſchembroek & Dufay. Le lecteur qui ne voudra rien ignorer de ce que l'on ſçait ſur cette matiére, doit parcourir les écrits, * où il trouvera un grand nombre d'expériences ingénieuſes & d'obſervations auſſi curieuſes que nouvelles. De tous les faits qui y ſont rapportés, celui qui ſurprend davantage,

* *Chriſt. Lud. Gerſten, tentam. Francof.* 1033.

* *Eſſais de Phyſ. p.* 753.

* *Mem. de l'Academie des Scienc.* 1736. *pag.* 352.

c'eſt

c'eſt que le ſerein ou la roſée ſemble éviter certains corps, tandis qu'ils s'attachent facilement aux autres : le verre, la porcelaine, & quantité d'autres matiéres ſe moüillent conſidérablement, tandis que de morceaux de métail poli de quelqu'étenduë qu'ils ſoient, expoſés au même lieu, demeurent conſtamment ſecs ; & cette eſpêce de préférence eſt ſi marquée, qu'un écu placé au milieu d'un grand plat de fayance, ou de verre, ne reçoit pas la moindre humidité, quoique le reſte du vaiſſeau ſoit tout moüillé.

Une certaine diſpoſition de l'atmoſphére, & un concours de circonſtances qu'il ſeroit fort difficile de marquer avec préciſion, déterminent quelquefois une grande quantité de vapeurs groſſieres à s'élever à-peu-près comme la roſée qui remonte : alors ces vapeurs qui s'élevent à peine, s'étendent uniformement dans la partie baſſe de l'atmoſphére, & la rendent opaque, tout le tems qu'elles y demeurent ſuſpenduës.

Toutes ces vapeurs flottantes & baſſes, tant celles qui viennent de la

XI. LEÇON.

rosée du matin, que celles qui naissent dans d'autres tems, & d'une maniére différente, se nomment *Broüillards*. Ce n'est ordinairement que de l'eau; mais quelquefois il s'y mêle des exalaisons qui se manifestent par leur mauvaise odeur, par une certaine âcreté qui prend aux yeux, & par le dommage qu'elles causent aux fruits & aux grains. Il régne en certaines années des broüillards auxquels on attribuë la *niélle* & la *roüille*, maladies assez communes au froment & au seigle: quelques sçavans ont rejetté sur ces mêmes causes, ce qu'on remarque à certains épics dont le grain devient noir & s'allonge en forme de corne, & que les Laboureurs appellent *Ergot* ou *Bled cornu*; la farine en est pernicieuse; on lui attribuë une maladie qui régne quelquefois dans les campagnes, & qui est connuë sous le nom de *Feu Saint Antoine*; on prétend aussi qu'elle donne la gangrenne *

En hyver les broüillards sont plus fréquens qu'en été, parce que le froid qui régne dans l'air, condense promptement les vapeurs, & ne leur

* *Hist. de l'Acad. des Sciences*, 1710. pag. 11. *Journ. des Sçavans*, Mars 1676.

donne pas le tems de s'élever beaucoup ; si le froid augmente, le broüillard se gêle & s'attache aux branches des arbres, aux plantes séches, aux cheveux des voyageurs, aux crins des chevaux, & généralement à tout ce qui s'y trouve exposé ; c'est ce qu'on appelle *Givre* ou *Frimas*. XI. LEÇON.

Quand les broüillards ou les vapeurs qui sont propres à les former, peuvent s'élever assez haut, il s'en fait des amas qui flottent au gré des vents dans l'atmosphére ; ce sont ces *nuées* que nous voyons suspenduës de côtés & d'autres au-dessus de nous, & qui nous cachent de tems en tems le soleil & les autres astres par leur opacité ; leurs figures & leurs grandeurs varient à l'infini, selon la quantité des vapeurs qui les fotment, & selon la maniére dont elles s'arrangent en s'unissant, ce qui dépend beaucoup de la direction & des différens degrés de vîtesses que les vents leur donnent.

Les nuées ne sont pas toutes également élevées, parce que, comme il faut qu'elles soient toujours en équilibre avec l'air dans lequel elles flot-

XI. LEÇON.

tent, & que ce fluide eſt plus rare à une plus grande diſtance de la terre, les vapeurs les plus ſubtiliſées peuvent ſe ſoutenir où les plus groſſiéres ſe trouveroient trop peſantes ; c'eſt pourquoi ces nuages épais qui ſont prêts à fondre en pluye ſont ordinairement fort bas. Ceux qui voyagent ſur les hautes montagnes, comme celles des Alpes ou des Pyrenées, paſſent ſouvent à travers des nuages qui dérobent la terre à leurs yeux, après leur avoir caché le Ciel ; les moins attentifs ne manquent point d'obſerver qu'à ces hauteurs la terre eſt toujours fort humectée par les nuages qui viennent s'y briſer, ce qui contribuë beaucoup à entretenir ces torrens & ces ſources qu'on voit ſi fréquemment au pied & aux environs de ces mêmes montagnes. Ainſi dans le tems même qu'il ne pleut point, les nuées ſont autant de voyes d'eau que les vents diſtribuënt en différentes contrées, & qui vont s'épuiſer contre les montagnes, d'où elles ſe répandent enſuite dans les plaines par les canaux ſouterrains que la nature y a pratiqués. Mais les nuées

ne s'épuiſent pas toujours de cette maniére; le plus ſouvent elles s'épaiſſiſſent, ſoit par l'action des vents qui les pouſſent les unes contre les autres, ſoit par la condenſation de l'air qui les porte; & alors leurs parties réunies en gouttes deviennent trop péſantes, & font, en tombant, ce qu'on nomme *la Pluie*. XI. LEÇON.

Lorſque cette condenſation ſe fait lentement, ou que les vapeurs tombent ſeulement parce que l'air qui les ſoutient ſe raréfie, comme il arrive quelquefois après un brouillard du matin, les gouttes demeurent très-petites; la pluye qu'elles forment eſt très-fine, & ſe nomme communément *Bruine*. Au contraire, quand les vapeurs ſe condenſent précipitamment, & dans une partie peu élevée de l'atmoſphére, où l'air a plus de dénſité, les gouttes acquiérent plus de groſſeur, & elles demeurent plus écartées les unes des autres, comme on l'obſerve preſque toujours dans les pluyes d'orage.

Les refroidiſſemens qui ſe font dans la région des nuages, non-ſeulement condenſent les vapeurs & les conver-

tiſſent en pluyes; il arrive ſouvent que
XI. le froid eſt aſſez conſidérable pour
LEÇON. les gêler : elles tombent alors ou en *neige* ou en *grêle*; en neige ſi la congélation ſaiſit les vapeurs avant qu'elles ſe ſoient réunies en groſſes gouttes; car ces glaçons infiniment petits s'uniſſant mal entr'eux, ne peuvent compoſer que des flocons fort légers; en grêle, ſi les particules d'eau ont le tems de ſe joindre avant que d'être priſes par la gélée.

La grêle ne devroit jamais être naturellement plus groſſe que de gouttes de pluye; ſi l'on en voit quelquefois tomber qui égale en groſſeur une noix ou un œuf, c'eſt que pluſieurs grains s'uniſſent enſemble en tombant; ou bien lorſqu'ils ont reçû un degré de froid ſuffiſant, ils gêlent toutes les particules d'eau qu'ils touchent dans leur chûte; & ils dévienent comme les noyaux de pluſieurs couches de glaces qui augmentent beaucoup leur volume & leur poids. C'eſt pour cela que la groſſe grêle eſt toujours fort anguleuſe, & que les grains qui ſont arrondis ne ſont jamais d'une denſité uniforme, depuis la ſurface juſqu'au centre.

XI. LEÇON.

On a vû, quoiqu'assez rarement, tomber en forme de pluye ou de grêle, des matiéres qui n'étoient point de l'eau. En 1695, il tomba en Irlande une pluye grasse & visqueuse qui demeura 14 ou 15 jours dans les endroits où elle s'étoit amassée, & qui devint noire en se séchant. Dans les mémoires de Breslaw *, il est fait mention d'une pluye de soufre qui mit l'allarme dans la ville de Brunswick. Les habitans de Copenhague, en 1649, ramassérent aussi du soufre dans les ruës aprés une grosse pluye qui en avoit fortement l'odeur. Scheuchzer observa en 1677 une poudre jaune qui tomba abondamment, & qu'on auroit volontiers pris pour du soufre; mais en l'examinant avec attention, il se détermina à croire que cette matiére venoit de la fleur des jeunes pins qui sont fort communs dans les environs du lac de Zuric, où il fit cette observation. On a vû des pluyes de sable à une distance assez considérable de la mer; c'étoit sans doute un effet du vent ou de la tempête, comme les pluyes de cendres & de pierres, si l'on peut les

* Octobre 1721.

nommer ainſi, ſont cauſées par les éruptions des volcans.

XI. LEÇON. Au reſte, quand il arrive de ces ſortes de phénoménes, on doit avant que de prononcer, les examiner avec beaucoup de circonſpection, & ne point céder précipitamment aux premiéres apparences; car ordinairement l'attention d'un obſervateur intelligent diſſipe une fauſſe merveille, & dévoile une vérité obſcurcie par les circonſtances. Si l'on jugeoit, par exemple, ſans autre examen, que tout ce qu'on apperçoit de nouveau ſur la terre, après ou pendant la pluye, vient comme les gouttes d'eau, de la nuée ou de l'atmoſphére, on croiroit comme le vulgaire qu'il pleut quelquefois des crapaux, du ſang, du grain, &c. Mais quand on ſçait que tous les animaux, juſqu'aux reptiles & aux inſectes, ont une génération réglée, & qui ſe fait toujours par les mêmes voyes dans chaque eſpéce; que le crapau, à-peu-près comme la grenoüille, vient d'un frai trop gros & trop péſant pour s'élever comme les vapeurs; & que la femelle qui le fait, & le mâle qui la féconde, ne peuvent

vent se soutenir en l'air ; on trouve qu'il est plus raisonnable de penser, que tous ces petits animaux nouvellement éclos, & cachés sous des herbes ou ailleurs, sont déterminés par la pluye à sortir de leurs retraites, que de croire qu'ils viennent de naître fortuitement, & qu'ils ont pû tomber contre la terre la plus dure & la plus battuë, sans s'écraser. XI. LEÇON.

Des taches rouges, dont les murailles & les couvertures des maisons se sont trouvées teintes en différens tems, ont fait croire au peuple ignorant & préocupé par la crainte, qu'il avoit plû du sang : les Historiens * même n'ont pas manqué de transmettre à la postérité ces phénoménes effrayans, & de les joindre à des événemens contemporains, jusqu'à ce qu'enfin quelques Sçavans * plus attentifs remarquerent, que la prétenduë pluïe de sang avoit marqué des endroits couverts ; comme le dessous des entablemens des portes & des fenêtres, & qu'immédiatement après, l'air se trouvoit rempli d'une multitude innombrable d'insectes d'une même espêce.

* *Plutarque, Dion, Tite-Liv. Pline, &c.*

* *Peireſc. Meret.*

XI. LEÇON.

La premiére de ces deux obſervations prouve d'abord & ſans réplique que les taches rouges n'étoient point les veſtiges d'une pluye qui fût tombée d'en-haut. La ſeconde fit connoître avec le tems quelle étoit leur véritable origine : voici comment on expliqua le fait après un peu de réflexion.

Quand un papillon ſort de ſa chryſalide, il dépoſe toujours deux ou trois gouttes d'une féroſité rouge qui reſſemble aſſez à du ſang ; or il y a telle circonſtance de tems, où il en naît un nombre prodigieux, car cette eſpêce d'inſectes, comme la plûpart des autres, eſt extrêmement féconde, & ſi tous les œufs venoient à bien, nous en ſerions fort incommodés : on ſe ſouvient encore du dommage que cauſa une ſeule eſpêce de chenille aux environs de Paris, pendant l'été de 1735 ; il ne reſta point de légumes dans les marais, & juſqu'au gramen, tout fut rongé dans les jardins & dans les champs. Lors donc qu'un pareil nombre de chenilles devenuës chryſalides ſe changent en papillons, combien ne doit-on

pas voir de taches rouges, quand c'eſt une eſpêce qui s'attache aux murs & aux bâtimens : car il y en a beaucoup qui ſe mettent en terre, ou qui ſe branchent aux tiges des plantes, & alors on n'apperçoit preſque point les traces de leur métamorphoſe. XI. LEÇON.

Les pluïes de grains n'ont pas plus de réalité que celles de ſang. Il eſt vrai qu'on a vû quelquefois après une groſſe pluye, la terre couverte d'une grande quantité de menus grains qui ont une ſorte de reſſemblance avec le froment : les payſans qui les ont ramaſſés, & qui ont eſſayé d'en faire du pain, n'ont pas manqué de croire qu'il étoit tombé du ciel, & ſuivant la maniére de penſer du peuple, ils en ont tiré des conjectures ſur la diſette ou ſur l'abondance ; mais des perſonnes les plus éclairées, & moins ſuſceptibles de préjugés, ont reconnu que ces grains étoient des petites bulbes, qui ſe forment en grande quantité aux racines d'une eſpêce de renoncule qu'on nomme *la petite chelidoine*, & alors tout le merveilleux diſparoît : car on ſçait que les racines

XI. LEÇON.

de cette plante ſont très-déliées, & à fleur de terre ; ce ſont de petits filets rampans, qui ſe déſſéchent, & qui diſparoiſſent ; & leurs bulbes qui ont plus de conſiſtance, demeurent iſolées, & reſſemblent un peu à des grains repandus ſur la terre.

Comme les nuées ſont des amas de vapeurs, il s'en fait plus que par-tout ailleurs au-deſſus des mers & des grands lacs, où l'évaporation eſt plus abondante. C'eſt pourquoi, toutes choſes égales d'ailleurs, les pluyes ſont plus fréquentes dans le voiſinage des côtes, que dans le milieu des continens ou des grandes iſles. En Hollande, par exemple, il y pleut communément davantage qu'aux environs de Paris ; & quand le vent eſt au Sud ou à l'Oueſt, nous avons ordinairement un tems pluvieux à cauſe de la méditerrannée & de l'Océan, dont nous ne ſommes point fort éloignés.

On meſure continuellement à l'Obſervatoire Royal, la quantité de pluïe qui tombe pendant le cours de l'année, comme on fait depuis long-tems en Angleterre, en Italie, en Hollan-

de, & dans plusieurs villes d'Allemagne. Ces sortes d'observations se font par le moyen d'un vase quarré ou cylindrique, gradué par dedans selon sa hauteur, que l'on expose dans un lieu découvert, mais cependant à l'abri du vent. Chaque fois qu'il pleut, on marque sur un journal de combien de lignes l'eau s'est élevée dans le vaisseau ; & au bout de l'année, en additionnant toutes ces quantités, on voit quelle est la somme totale de la pluïe qui a tombé pendant les douze mois. En procédant ainsi, on a appris que dans les années moyennes il tombe à Paris environ 19 pouces d'eau ; à Londres 37 pouces $\frac{1}{2}$ mesure d'Angleterre, ce qui fait environ 35 pouces de France ; à Rome 20 pouces ; à Zuric en Suisse 32 pouces ; à Utrecht 24 pouces *.

XI. LEÇON.

* environ 23. pouces mesure de France.

La pluye purifie l'atmosphére, en précipitant avec elle toutes les exhalaisons qui s'y amassent pendant la sécheresse, & dont la trop grande quantité corromproit l'air, & causeroit des maladies épidémiques. On s'apperçoit sensiblement de cet effet,

XI. LEÇON.

non-seulement parce qu'on respire plus à son aise, mais encore parce que l'air devient plus transparent; les objets s'apperçoivent plus distinctement & de plus loin, & jamais les lunettes à longue vûë ne font aussi-bien qu'après une grosse pluye, & par un tems calme.

Un autre effet de la pluye, & qui nous est encore très-avantageux, c'est de rafraîchir l'air, & de modérer la chaleur, qui nous incommode souvent dans certaines saisons. On en reconnoît bientôt la cause, quand on sçait que la région des nuages est presque toujours beaucoup plus froide, que cette partie de l'atmosphere où nous sommes. C'est un fait que ne peuvent ignorer ceux qui ont vû la cîme des montagnes couverte de neige, lorsqu'il fait encore assez chaud dans les lieux bas. Ainsi, quand il pleut en été, c'est de l'eau froide qui se filtre à travers d'un air plus chaud qu'elle; celui-ci perd nécessairement une partie de sa chaleur.

Mais de tous les bons effets de la pluye, il n'en est pas dont nous ayons plus de besoin, & qui tourne plus

directement à notre avantage que la part qu'elle a à la fertilité de la terre : quand elle manque trop long-tems, & que rien n'y supplée, tout devient aride dans les champs, & leur culture demeure sans succès ; mais lorsqu'elle les arrose modérément, elle amollit la terre, elle entretient la souplesse des plantes, elle développe les germes, elle réünit les principes de la seve, & lui sert de véhicule pour l'introduire dans les racines, & pour la distribuer à la tige & aux branches. XI. LEÇON.

Comme les vapeurs qui doivent retomber en pluïe, élevent avec elles ou rencontrent dans l'atmosphére, les parties les plus subtiles de toutes ces substances que la nature fait entrer dans la composition des mixtes, les sels, les soufres, les huiles, &c. les nuages agités par les vents, transportent tous ces principes d'un lieu dans un autre, & les distribuënt de maniére qu'ils ne tarissent jamais. C'est donc pour leur donner le tems de se rassembler, qu'on laisse reposer les terres épuisées, ou qu'on y varie les sémences ; car une plante peut souvent se passer de ce qu'une autre tire de la terre.

XI. LEÇON.

Les pluïes peuvent avoir auſſi de mauvais effets, comme elles en ont de bons ; lorſqu'elles ſont froides ou trop fréquentes, lorſqu'elles tombent hors de ſaiſon, elles retardent les progrès de la végétation, & la maturité des fruits ; elles pourriſſent les moiſſons & font germer le grain ſur les champs ; elles font périr le gibier ; elles gâtent les chemins ; elles rendent impraticable la navigation des riviéres, par les débordemens & les inondations qu'elles cauſent : & tous ces fâcheux effets incommodent le commerce & occaſionnent la diſette.

On voit aſſez ſouvent ſur mer, & beaucoup plus rarement ſur terre, un phénoméne ſurprenant & très-dangereux, qu'on appelle *Trombe* : c'eſt une nuée épaiſſe, qui s'allonge de haut en bas, en forme de colonne cylindrique ou de cône renverſé : elle jette au tour d'elle beaucoup de pluye ou de grêle, & fait entendre un bruit ſemblable à celui d'une mer fortement agitée ; elle renverſe les arbres & les maiſons par-tout où elle paſſe, & lorſqu'elle s'abat ſur un vaiſſeau, elle ne manque guéres de le ſubmer-

ger. Les gens de mer qui connoiſſent ce danger, s'en éloignent le plus qu'ils peuvent; & quand ils ne peuvent éviter d'en approcher, ils tâchent de la rompre à coups de canon, avant que d'être deſſous, pour prévenir l'inondation dont ils ſont menacés. Peu d'obſervateurs ont eû le loiſir d'examiner de près ces ſortes d'accidens, & par cette raiſon, l'on n'eſt pas encore bien inſtruit de la maniére dont ils naiſſent. On croit * avec aſſez de vraiſemblance que la nuée determinée à tourner par la double impulſion de deux vents contraires, & dont les directions ſont paralléles, prend la forme d'un tourbillon d'eau, qui s'allonge & s'élargit plus ou moins, ſuivant la vîteſſe avec laquelle il tourne, & ſuivant l'étenduë en hauteur des vents qui l'agitent.

XI LEÇON.

* *Hiſt. de l'Acad. des Sciences 1727. pag. 5.*

J'aurois encore bien des choſes à dire touchant les météores aqueux; mais je paſſerois les bornes que je me ſuis preſcrites dans un ouvrage, où je me ſuis moins propoſé de donner une hiſtoire complette des effets naturels, que d'expoſer les cauſes de

XI. LEÇON.

ceux qui sont les plus connus & les plus intéressans: le Lecteur qui désirera d'en sçavoir davantage, pourra consulter les Auteurs * qui ont écrit sur cette matière *ex professo*, & les Mém. des principales Académies, où l'on trouve un recueil d'Observations Météorologiques pour chaque année.

* *Stanhusius, Rest, Dechales, Gesten, Musch, &c.*

ARTICLE II.

De l'atmosphère considérée comme un Fluide en mouvement.

On observe principalement deux sortes de mouvemens dans l'air de l'atmosphère : l'un est une espèce de frémissement imprimé aux parties de ce fluide, & qui les agite quelques instans, sans les déplacer ; (*a*) l'autre est un déplacement successif qui

(*a*) On pourroit dire contre cette définition que le bruit du canon casse les vitres d'un appartement voisin, ce qui ne se peut faire sans un déplacement sensible de la masse d'air qui les touche, & qui les enfonce ; mais on verra aisément par tout ce qui sera exposé dans cet article, que cette commotion violente de l'air peut bien quelquefois accompagner le son ou le bruit, mais qu'elle ne lui est point essentielle ; & qu'elle ne se rencontre pas dans les cas les plus ordinaires.

se fait d'un grand volume d'air, avec une vîtesse sensible & une direction déterminée. Le premier de ces deux mouvemens s'appelle *son*; le dernier est ce qu'on nomme le *vent*.

Du Son en général.

Le son naît communément du choc ou de la collision de deux corps, dont les parties ébranlées font frémir comme elles, & de toutes parts jusqu'à une certaine distance, le fluide qui les environne; & ce frémissement se communique aux autres corps qui en sont susceptibles, & qui se rencontrent dans cette sphére d'activité; de sorte que la même cloche que l'on fait sonner, peut se faire entendre à un nombre infini de personnes placées aux environs. On peut donc considérer le son, 1°. dans le corps sonore, 2°. dans le milieu qui le transmet, 3°. dans l'organe qui en reçoit l'impression. On pourroit encore tenter de le suivre jusques dans l'ame qui en perçoit l'idée; mais c'est une entreprise qui appartient à la Métaphysique, & qui n'est point de mon ref-

XI. LEÇON.

sort: j'en uſerai pour l'ouie, comme j'ai fait pour les autres ſens; je me contenterai de conduire l'objet juſqu'à la partie de l'organe, où s'accomplit la ſenſation, & je me diſpenſerai d'examiner comment naiſſent les idées, à l'occaſion de l'objet ſenſible.

Des Corps Sonores.

On appelle *Corps Sonores* proprement dits, ceux dont les ſons, après le choc ou le frottement qui les fait naître, ſont diſtincts, comparables entr'eux, & de quelque durée. Car on ne doit pas nommer ainſi ceux dont la chûte ou l'ébranlement ne fait entendre qu'un bruit confus ou ſubit, tels qu'un tombereau que l'on décharge, le murmure d'une eau courante, ou le mugiſſement des flots agités. Or on remarque qu'il n'y a que les corps élaſtiques qui ſoient véritablement ſonores, ſuivant cette définition; & que le ſon qu'ils rendent, eſt toujours proportionnel à leurs vibrations, ſoit pour la durée, ſoit pour l'intenſité ou force.

PREMIERE EXPERIENCE.

XI. Leçon.

PREPARATION.

La *Fig.* 2. repréſente une cloche de verre ſuſpenduë fixement entre deux montans qui ſont élevés ſur une baſe; on frappe légérement pluſieurs coups ſur les bords de cette cloche, pour la faire ſonner; & auſſi-tôt on fait avancer la vis *A* qui a ſon écrou dans l'épaiſſeur du montant: & on la fait avancer, juſqu'à ce que le bout ſoit fort près de la cloche ſans la toucher.

EFFETS.

On entend un petit frémiſſement du verre contre la pointe de la vis, & ce bruit dure autant que le ſon de la cloche ſubſiſte.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On attache à deux points fixes une corde de clavecin ou de vielle, qui a environ deux pieds de longueur, & avec un cure-dent ou une épingle, on appuye deſſus le milieu pour la mettre en jeu.

XI. LEÇON.

EFFETS.

Pendant que la corde réſonne, on l'apperçoit ſous la figure d'un parallélogramme, *BCDE*, *Fig.* 3. & cette figure ceſſe avec le ſon, dès qu'on la touche avec le doigt, ou avec quelqu'autre corps ſolide.

EXPLICATIONS.

On peut regarder une cloche comme une ſuite de zones circulaires, dont les diamétres décroiſſant ſuivant une certaine proportion, ſont repréſentés par les lignes ponctuées 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, *Fig.* 4. & chaque zone, par rapport à ſon épaiſſeur, comme un anneau plat compoſé de pluſieurs circonférences concentriques, *Fig.* 5. Ce que je dirai d'un de ces anneaux plats, doit s'entendre de toutes les zones.

Si la matiére de la cloche n'étoit point poreuſe, toutes les circonférences concentriques qui compoſent la largeur d'un anneau, & qui font l'épaiſſeur de la cloche, ſeroient autant de lignes pleines & ſans interruption, comme les repréſente la

Fig. 5. Mais comme les parties qui les compoſent, laiſſent entr'elles de petits intervalles, ces anneaux ſont repréſentés par la *Fig.* 6. d'une maniére plus conforme à la nature. XI. LEÇON.

Maintenant qu'on ſe rappelle ce que nous avons dit * en expliquant le mouvement réfléchi; " Qu'une „ boule élaſtique qui tombe ſur un „ marbre, perd ſa figure ſphérique, „ & ne la reprend qu'après avoir été „ quelque tems un ellipſoïde, dont „ le grand diamétre eſt de deux fois „ une, horizontal & vertical. " Il ſuit de-là que, quand on frappe extérieurement le bord d'une cloche qui eſt un anneau élaſtique *a*, *b*, *c*, *d*, *Fig.* 7. il devient alternativement ovale ſur deux ſens; & c'eſt en cela même que conſiſtent ſes vibrations. Ainſi la même partie de la cloche *u*, par exemple, ſe portant d'*f* en *g*, & de *g* en *f*, ſucceſſivement avec une grande viteſſe, heurte autant de fois le bout de la vis, & fait entendre ce frémiſſement qui a été le principal effet de la premiere expérience. * *Tom. I. p.* 411.

Mais cet anneau circulaire ne peut devenir ovale qu'à deux conditions:

XI. LEÇON.

1ment. Il faut qu'à deux endroits opposés de sa circonférence, les petites lames, ou les petits filets qui le composent, se plient d'abord davantage, & ensuite moins qu'ils ne le font, lorsqu'ils composent un cercle : 2ment. Il est nécessaire qu'aux endroits de la plus grande courbure, celles de ces parties qui forment les couches extérieures, s'écartent les unes des autres, plus qu'elles ne le font dans leur état ordinaire.

Quand à la corde tenduë, il faut aussi se souvenir de ce que nous en avons dit * en parlant des loix du ressort, " que ses vibrations qui nous la „ font voir sous la figure d'un paral„ lélogramme, (parce qu'elles sont toujours très-pomptes, & que les impressions qui nous la représentent, faisant un angle en-haut, subsistent encore au fond de l'œil, lorsqu'il en naît d'autres qui nous la font voir, faisant un angle en bas ;) " que ces „ vibrations, dis-je, se font en con„ séquence de la réaction de toutes „ les petites fibres, dont elle est com„ posée. " Car lorsque cette corde devient angulaire, elle est plus lon-

* Tom. I. p. 309.

gue

gue que quand elle tend en droite ligue d'un point fixe à l'autre. Il faut donc que ſes moindres parties s'écartent un peu les unes des autres, pour ſe prêter à cet allongement, & qu'elles ſe rapprochent, pour ſe réduire dans la premiére longueur. XI. LEÇON.

Ainſi dans la corde, comme dans la cloche, lorſqu'on excite le ſon, je conçois deux ſortes de vibrations, les unes que j'appellerai *totales*, parce qu'elles ſont du corps ſonore tout entier, je veux dire, celles qui rendent les zones de la cloche ovales, de circulaires qu'elles ſont, & qui nous font voir une corde de violle ou de clavecin ſous la figure d'un parallélogramme; les autres que je nommerai *particuliéres*, qui appartiennent aux parties inſenſibles, & qu'on peut regarder comme les élémens des premiéres.

On avoit toujours crû que les corps étoient ſonores par leurs vibrations totales; mais on s'eſt déſabuſé de cette fauſſe idée, & c'eſt principalement à MM. Perault, Carré & de la Hire, qu'on doit cette correction. Le dernier de ces trois Académiciens prou-

XI. LEÇON.

ve par une expérience bien simple, que le son consiste essentiellement dans les vibrations particuliéres des parties insensibles : " Que l'on tienne, dit-il, * une pincette suspendüe sur le doigt, & qu'avec l'autre main on presse les deux branches pour les laisser échapper ensuite ; elles se mettent en vibrations, mais elles demeurent muettes ; au lieu de les mettre en jeu de cette maniére, qu'on frappe dessus avec un doigt ou avec quelqu'autre corps solide, elles feront encore des vibrations comme dans la premiére épreuve, mais pour cette fois elles auront un son très-intelligible : qu'y a-t'il de plus ici, sinon un tremblement dans les parties du fer, & que l'on sent quand on y porte doucement la main ? "

* *Voy. les Mém. de l'Acad. pour l'année 1716. pag. 264.*

C'est donc à des parties qui frémissent que le son doit être attribué ; & après cette expérience on doit être persuadé, que toutes les fois qu'il sera possible de séparer ces deux espèces de vibrations, on n'aura jamais aucun son avec celles que nous appellons totales ; mais quand celles-ci naissent

des autres, (& c'eſt le cas le plus ordinaire) quoiqu'elles ne faſſent point le ſon par elles-mêmes, elles en reglent cependant la force, la durée & les modifications.

XI. LEÇON.

APPLICATIONS.

L'explication des deux expériences précédentes peut ſervir à rendre raiſon de pluſieurs faits qui ont rapport à cette matiére, & qui méritent attention. Pourquoi, par exemple, fait-on les cloches d'un métal compoſé d'étain & de cuivre rouge? C'eſt que tout métal compoſé eſt plus dur, plus roide, & par conſéquent plus élaſtique que les métaux ſimples qui entrent dans le mélange : & comme les corps ſonores le ſont d'autant plus que leurs parties ont plus de reſſort, on allie la matiére des cloches & des timbres pour en tirer plus de ſon. La plûpart des ſonnettes cependant ne ſont que de cuivre ; mais c'eſt un mauvais cuivre ; un métal devenu aigre que les ouvriers appellent *Potain* : comme cette matiére eſt fort roide & caſſante, elle eſt plus ſonore que ne ſeroit un cuivre neuf & plus doux qu'on nomme *Roſette*. Quand on fait

XI. LEÇON.

des sonnettes d'argent pour les cabinets, elles ne peuvent avoir qu'un assez mauvais son, si le métal est sans alliage, ou si l'on n'y supplée, en le forgeant à froid, ce qui lui donne plus de ressort.

On fait subitement cesser le son d'une cloche, en la touchant avec la main ou avec quelqu'autre corps, parce qu'on interrompt les vibrations. C'est pour cela que les timbres des horloges, lorsqu'ils sont couverts de neige, ne sonnent que sourdement; ainsi que les tambours que l'on couvre d'étoffe dans les cérémonies lugubres. Par la même raison une cloche fenduë ne peut continuer ses vibrations, parce que les bords de la fente se heurtent réciproquement, & font, l'un à l'égard de l'autre, ce que pourroit faire un corps étranger qui toucheroit la cloche. Le son seroit probablement moins interrompu, si au lieu d'avoir une simple fêlure, elle étoit entr'ouverte de la largeur d'un travers de doigt ou davantage. On peut remarquer encore que les Horlogers ont toujours soin que les marteaux des timbres soient rele-

vés ſubitement après le coup par un reſſort, afin que le même corps qui a excité le ſon ne l'altére pas, en reſtant trop long-tems appliqué au corps ſonore. XI. LEÇON.

Puiſque le ſon n'eſt jamais qu'une ſuite de vibrations, on doit concevoir qu'il n'y en a point qui ſoit abſolument continu; s'il nous paroît tel, c'eſt que le ſilence d'une vibration à l'autre eſt trop court pour être apperçu. Rien n'eſt plus propre à faire ſentir cette vérité qu'un inſtrument à anche, comme le haut-bois ou la muſette: une anche eſt compoſée de deux lames à reſſort & fort minces, de métal, de bois, ou de quelque autre matiére; elles ſont jointes par un bout, & forment enſemble un petit tuyau; par l'autre bout elles ſont plattes, & s'approchent de fort près ſans ſe toucher. Lorſque le ſouffle de la bouche ou le vent d'un ſoufflet met l'anche en jeu, les deux lames battent l'une contre l'autre avec une viteſſe extrême, & rendent un ſon qui paroît auſſi continu que celui d'une flûte ou d'un violon. Cependant puiſque ce ſon vient des coups multipliés

XI. LEÇON.

d'une lame sur l'autre, il est incontestable qu'il y a un petit intervalle entre les battemens, & que le son qu'elles rendent n'est point continu.

C'est une méchanique assez semblable à celle d'une anche, qui fait la voix de la plûpart des insectes; car c'est une erreur de croire que le bourdonnement des mouches, le cri des cigales, celui des sauterelles & des grillons, vienne de la bouche de ces petits animaux, ou des organes par lesquels ils prennent leur nourriture: dans les uns c'est un certain battement des aîles; dans les autres, c'est le jeu d'une espêce de tambour, qu'ils ont quelquefois dans le ventre, comme la cigale, & d'autres fois sur le dos vers le corcelet, comme il est aisé de l'observer à certaines sauterelles qui se retirent dans les buissons, & qui n'ont point d'aîles.

Maîs le son doit-il toujours son origine au choc ou aux battemens de deux corps solides, comme celui d'une cloche qui est frappée par un marteau, ou celui d'une corde qui est pincée avec l'ongle, ou avec le bout d'une plume? Les fluides ne seroient-

ils point ſonores par eux-mêmes ? ou bien ceux-ci frappés par des corps durs, ne ſeroient-ils pas capables de rendre des ſons ? XI. LEÇON.

On ſçait à quoi s'en tenir ſur ces queſtions, quand on réfléchit un peu ſur certains effets qui ſe préſentent journellement. Un coup de fouet qu'un charretier ou un poſtillon fait retentir, le bruiſſement d'une petite planchette qu'un enfant fait tourner rapidement au bout d'une ficelle, le ſifflement d'une baguette que l'on ſecouë avec une grande vîteſſe, qu'eſt-ce autre choſe que le ſon de l'air frappé par un corps dur ? dans tous ces cas, & dans une infinité d'autres, c'eſt donc un fluide qui réſonne, & dont les parties ſe mettent en vibrations pour avoir été choqués par un corps ſolide. Dans le ſon d'un ſifflet ou d'une flûte, je ne vois rien autre choſe qu'un certain volume d'air qui part de la bouche du joueur pour frapper une autre maſſe d'air contenuë dans l'inſtrument : car je penſe que les vibrations du bois n'y entrent pour rien, [ſi ce n'eſt peut-être pour tranſmettre, avec plus ou moins d'é-

clat, le son qui est déja formé.] Ce qui me fait croire que les vibrations de la flûte ne participent point à la formation des sons qu'elle rend, c'est qu'on la tient & qu'on la touche pendant qu'elle est en jeu, & que ses vibrations, si elle en avoit, cesseroient par ces attouchemens. L'instrument ne sert donc, pour ainsi-dire, que de mesure & d'enveloppe au volume d'air sur lequel on souffle; & l'on peut dire que tous les cas qui ressemblent essentiellement à celui-ci, sont autant d'exemples de son rendu par des fluides qui s'entrechoquent.

XI. LEÇON.

Il y a des gens, comme on sçait, qui cassent un verre à boire par le son de leur voix, en présentant l'ouverture de la coupe devant leur bouche. Ce n'est pas, comme l'ont crû certaines personnes peu au fait de cette matiére, en prenant un ton aigre & dissonant, ni comme l'a prétendu un Auteur * (qui a fait une dissertation entiére sur ce fait,) que l'air agité par la voix pénétre le verre, & le force de s'ouvrir. C'est au contraire en prenant l'unisson du verre, & seulement en forçant la voix; car alors on augmente

* *Morhoff. de Siph. vitr. per cert. humana vocis sonum fracto.*

mente la grandeur des vibrations totales, & par conséquent celles des vibrations particulières d'où elles résultent : mais comme ces dernières ne peuvent se faire, sans que les parties du verre s'écartent les unes des autres, lorsqu'elles deviennent trop grandes, l'écartement de ces parties va jusqu'à séparation ou solution de continuité, & alors le verre tombe en pièces ; en un mot la voix forcée fait sur le verre, ce que fait un archet que l'on traîne trop fort sur une chanterelle. C'est encore ici un exemple du son excité, ou du moins augmenté, dans un corps solide par le choc d'un fluide. XI. Leçon.

Du MILIEU qui transmet les sons.

Les vibrations d'un corps sonore se passeroient dans un parfait silence, s'il n'y avoit entre lui & nous quelque matière capable de recevoir & de transmettre cette espèce de mouvement : car tel est l'ordre de la nature, qu'un corps n'agit point sur un autre, s'il ne le touche par lui-même ou par quelque matière interposée, &c.

XI. Leçon.

de tous ceux qui ont imaginé des exceptions à cette loi générale, on peut dire qu'aucun n'en a encore donné des preuves suffisantes. Mais quand bien même le corps sonore agiroit sur une matière, la propagation du son n'auroit pas encore lieu, si cette matière inflexible ou trop molle n'étoit capable de s'animer du même mouvement que lui. Voici donc deux conditions également nécessaires & suffisantes dans le milieu qui doit transmettre le son : 1.^ment^, il doit avoir une certaine densité, afin que ses parties agissent assez fortement & assez librement les unes sur les autres ; 2.^ment^, il doit être élastique, parce que le mouvement de vibration naît du ressort des parties. Les expériences qui vont suivre serviront de preuves à ces deux propositions.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On établit sur la platine d'une machine pneumatique, *Fig.* 8. un petit mouvement d'horlogerie, qui, lorsqu'il est en jeu, fait mouvoir deux

marteaux qui battent alternativement sur un timbre. Cet instrument est monté sur une base de plomb, qui est garnie par-dessous d'un coussinet rempli de coton ou de laine (a) : on couvre le tout d'un récipient qui est garni par en-haut d'une boëte à cuirs: la tige de métal qui passe à travers, sert à détendre le petit lévier *F*, pour mettre le rouage en mouvement, aussi-tôt qu'on a raréfié l'air du recipient le plus qu'il est possible. XI. LEÇON.

EFFETS.

Si l'air est suffisamment raréfié, & que la tige de la boëte à cuirs ne touche plus au lévier de la détente, on voit battre les marteaux sans entendre aucun son ; mais si l'instrument touche à la platine, au récipient ou à quelqu'autre corps dur qui communique au-dehors, comme la tige qui a servi à détendre le lévier, on entend un peu le tact des marteaux.

IV. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Il faut fixer une montre à réveil sur

(a) Cet instrument est représenté plus en grand, *Tome I. 3e Leçon, Planche 2. Fig. 5.*

XI. LEÇON.

une platine de plomb épaisse de 4 à 5 lignes, que l'on couvre ensuite d'un petit recipient dont on lute les bords sur le plomb avec de la cire molle : on suspend ensuite cet assemblage avec 4 fils qu'on réünit au-dessus du récipient, pour le plonger dans un grand vase cylindrique qui contient environ 30 pintes d'eau, que l'on a purgée d'air. *Voyez la Fig. 9.*

EFFETS.

Lorsque le réveil vient à sonner, on l'entend quoiqu'il soit environné de plusieurs pouces d'eau de toutes parts ; mais le son paroît fort affoibli.

EXPLICATION.

Un timbre qui fait ses vibrations dans le vuide, ne les peut communiquer à rien ; par conséquent, puisqu'elles n'opérent le son que quand elles se transmettent, elles doivent se passer dans le vuide avec un profond silence. A la vérité il n'y a point un vuide absolu dans le recipient de notre expérience ; mais l'air qui y reste est si raréfié, que ses parties alors trop lâches n'ont point assez

Fig. 6.

Fig. 7.

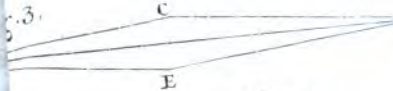


Fig. 1

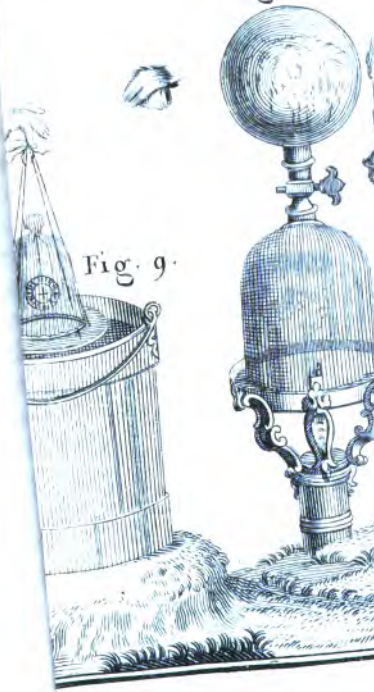


Fig. 9.

de réaction. Il manque à ce fluide la première des deux conditions que nous avons marquées ci-dessus, c'est-à-dire, une densité suffisante qui mette les parties en état d'agir fortement les unes sur les autres.

XL. LEÇON.

On dira peut-être qu'au défaut de l'air grossier, il y a toujours dans ce vaisseau une matière plus subtile, ne fût-ce que celle de la lumière ou du feu; mais apparemment que cette matière, telle qu'elle soit, n'est point propre à la propagation du son, soit que son ressort ne soit point analogue à celui des corps sonores, soit que ceux-ci n'ayent point de prise sur elle, à cause de l'extrême facilité avec laquelle elle penetre tous les corps.

Cette expérience du timbre ou d'une sonnette dans le vuide, si connuë & tant repetée dans les colleges, a fait conclure à bien des gens, que l'air est le seul milieu propre à la propagation du son. Qu'il y soit propre & plus qu'un autre, cela n'est point douteux; qu'il soit le seul, je crois que c'est trop dire. Car pourquoi cette même expérience ne réussit-elle pas au gré de ceux qui la font, quand

ils n'ont pas ſoin d'iſoler le corps ſonore, ou d'empêcher qu'il ne touche immédiatement la platine, le récipient ou quelqu'autre corps dur qui communique au-dehors ? n'eſt-ce point parce que le ſon ſe tranſmet par les corps ſolides qui ont communication d'une part avec le timbre, & de l'autre avec l'air extérieur ?

D'ailleurs la quatriéme expérience ne nous laiſſe, ce me ſemble, ſur cela aucun doute. Si le ſon ne pouvoit ſe tranſmettre que par l'air, pourquoi l'entendroit-on lorſque le corps ſonore enfermé par le verre & par le plomb, ſe trouve plongé dans un vaſe plein d'eau ? n'eſt-on pas forcé de reconnoître que le ſon ſe communique du réveil à l'air qui l'environne, de l'air au récipient, du récipient à l'eau, & de l'eau à l'air extérieur ?

Dira-t'on que cette communication ne ſe fait point par les parties propres du verre & de l'eau, mais par celles de l'air qu'ils contiennent, & qui ſe trouve naturellement dans tous les corps ?

J'ai prévenu cette objection en me ſervant d'eau purgée d'air : & quand

on m'objecteroit encore, que l'on n'ôte jamais tout l'air qui eſt dans l'eau; j'aurois à répondre, que j'en ai ôté une grande partie; & que ſi cet air contribuoit néceſſairement à la propagation du ſon, je devrois au-moins trouver une différence ſenſible, en répétant la même expérience avec pareille quantité d'eau non purgée d'air; ce que je n'ai cependant jamais apperçu, quelqu'attention que j'aye apportée.

Si quelque raiſon pouvoit faire douter que les parties de l'eau fuſſent capables par elles-mêmes de tranſmettre les ſons, ce ſeroit l'opinion où l'on eſt communément, que les liqueurs ne ſont point compreſſibles; car ſi cela étoit à la rigueur, elles n'auroient pas de reſſort; & tout corps qui n'eſt point élaſtique, n'eſt point ſuſceptible d'un mouvement de vibration.

Mais ſur quel fondement a-t'on cru juſqu'ici que les liqueurs étoient incompreſſibles? C'eſt parce que les Académiciens de Florence, & pluſieurs autres Phyſiciens qui les ont éprouvées à cet égard, n'ont jamais

XI. LEÇON.

pû restraindre leur volume par compression. Mais, cela suffit-il pour établir sans restriction que les liquides sont incompressibles ? n'auroit on pas conclu plus sagement, que si elles se compriment par les efforts que nous sommes en état d'employer contre elles, c'est d'une si petite quantité, que leur volume n'en diminuë jamais sensiblement ?

Aucun fait connu ne prouve donc l'incompressibilité absoluë de l'eau ; j'ai exposé ailleurs * des raisons qui combattent fortement cette opinion ; & il me semble que notre derniére expérience acheve de la détruire : car si l'eau transmet le son elle est élastique ; & si elle est élastique, il faut qu'elle soit compressible.

* Tom. I pag. 122. & suiv.

APPLICATIONS.

Puisque le son se transmet par les corps solides, comme le prouvent d'une maniére incontestable les précautions qu'il faut prendre, pour faire réussir la premiére des deux expériences précedentes ; on ne doit plus être aussi surpris d'un fait qui amuse les enfans, & qui interesse l'attention

des personnes les plus sérieuses ; c'est d'entendre distinctement le choc d'une épeingle contre l'extrêmité d'une longue poutre, lorsqu'on a l'oreille à l'autre bout : car à cause de la contiguité des parties, ce choc est rendu à l'air qui touche le bout opposé de la piece de bois. Il est cependant toujours bien singulier que le bruit perde si peu de sa force pour parvenir à une si grande distance, tandis qu'à peine peut-il être entendu à-travers l'épaisseur de la même poutre : c'est apparemment parce que les fibres longitudinales du bois sont bien moins interrompuës par leur porosité, que ne l'est l'assemblage de ces mêmes fibres, qui fait l'épaisseur de la piéce.

XI. LEÇON.

Non seulement le son excité dans l'eau se transmet à l'air de l'atmosphére, mais aussi celui qui naît dans l'air passe dans l'eau, & y fait sentir toutes ces modifications. J'ai eu la curiosité de me plonger exprès à différentes profondeurs dans une eau tranquille, & j'y ai entendu très-distinctement toutes sortes de sons, jusqu'aux articulations de la voix humaine.

XI. LEÇON

Il est vrai que tous ces sons étoient fort affoiblis, sans doute parce que les parties de l'eau, beaucoup moins flexibles que celles de l'air, ne peuvent avoir des vibrations ni si amples ni d'une si longue durée : mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que cet affoiblissement se fait presque tout entier au passage de l'air dans l'eau ; car à trois pieds de profondeur, j'entendois presqu'aussi bien qu'à trois pouces.

C'est une question parmi les Naturalistes de sçavoir si les poissons ne sont pas sourds comme ils sont muets ; & quoique les plus habiles * s'en soient mêlés, elle est encore indécise, au grand étonnement du vulgaire, qui juge toujours sur les premières apparences, & sur l'analogie la moins approfondie, " Tous les autres animaux entendent ; pourquoi les poissons n'entendroient-ils pas ? les poissons fuyent comme les oiseaux quand on fait du bruit ; les uns comme les autres en sont donc effarouchés. " Mais le vulgaire ne sçait pas qu'on ne connoît point d'oreilles aux poissons, ni rien qui en fasse l'office ;

* *Pline, Boyle, Arsheüi, Rondelet, &c.*

il ignore auſſi qu'on a coûtume de ré-
garder l'eau qui eſt leur élément natu- XI. LEÇON.
rel, comme incapable de reſſort, & que dans cette ſuppoſition, on ſeroit bien fondé à la croire imperméable au ſon. Si le poiſſon fuit quand on fait du bruit, il faut être bien aſſuré qu'il n'a pû appercevoir aucun mouvement qui l'ait determiné à fuir ; & je ſçais par moi-même que ce n'eſt point une choſe fort aiſée à décider, pour quelqu'un qui eſt en garde contre le préjugé.

Quoi qu'il en ſoit, ſi le poiſſon n'entend point les ſons qui viennent de l'air, l'empêchement ne vient pas de l'eau, puiſqu'elle les tranſmet ; je ne regarde point non plus comme une raiſon qui établiſſe abſolument ſa ſurdité, un défaut d'oreilles ſemblables à celles des autres animaux : cet organe, dans le poiſſon, pourroit être tout autrement conſtitué qu'il ne l'eſt dans les animaux qui reſpirent l'air : que ſçait-on ſi ce ſens n'eſt point univerſel pour eux, comme le toucher l'eſt pour nous ? ce qui me fait hazarder ce ſoupçon, c'eſt qu'ayant plongé avec moi des corps

XI. LEÇON.

sonores, le bruit ou le son que j'ai fait naître dans l'eau, m'affectoit tout le corps par une certaine commotion très-sensible, ce qui vient sans doute de la grande solidité des parties de l'eau.

Par quelque milieu que le son se transmette, il employe un tems qui est sensible, lors même que la distance est assez médiocre ; bien différent en cela de la lumiére dont la propagation se fait dans un instant très-court à des distances fort grandes. Cette différence est un moyen commode, & dont on n'a pas manqué de faire usage pour mesurer la vîtesse du son. Car si l'on fait tirer un coup de canon ou une boëte à une distance connuë, on peut prendre sans erreur sensible, l'éclat de lumiére qu'on apperçoit comme le signal du son naissant ; & l'on comptera, par le moyen d'un pendule à secondes, le tems qui s'écoulera jusqu'à ce qu'on l'entende ; ainsi le tems sera connu comme l'espace, ce qui donnera la vîtesse.

Cette expérience faite & repetée depuis long-tems par l'Académie del-Cimento, par MM. Flamsteed, Hal-

ley, Derham, &c. avoit fait conclure la vîteſſe du ſon, de 180 toiſes meſure de France par ſeconde; mais il reſtoit encore quelque incertitude ſur les réſultats, ſoit parce qu'ils ne s'accordoient point parfaitement entr'eux, ſoit parce qu'on avoit employé des diſtances trop peu conſidérables. En 1738, l'Académie des Sciences*, pour terminer avec préciſion une queſtion qui peut être d'une application utile, ſoit pour la Géographie, ſoit pour la sûreté de la navigation, chargea MM. de Turi, Maraldi, l'Abbé de la Caille, de faire à cét égard les expériences néceſſaires, & avec les précautions les plus convénables au ſujet. Ces Académiciens firent leurs opérations ſur une ligne de 14636 toiſes qui avoit pour termes la tour de Montlheri, & la pyramide de Montmartre, & voici quels en furent les principaux réſultats.

XI. LEÇON.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1738. p. 128.

1°. Le ſon parcourt 173 toiſes meſure de Paris en une ſeconde de tems, de jour ou de nuit, par un tems ſerein ou par un tems pluvieux. Le mouvement de la lumiére n'a donc

XI. Leçon.

point de part à la propagation du son; & les vapeurs mêlées avec les particules de l'air n'interrompent point le mouvement de vibration.

2°. S'il fait un vent dont la direction soit perpendiculaire à celle du son, celui-ci a la même vîteſſe qu'il auroit par un tems calme.

3°. Mais ſi le vent ſouffle dans la même ligne que parcourt le ſon, il le retarde ou il l'accélére ſelon ſa propre vîteſſe, c'eſt-à-dire, qu'avec un vent favorable le ſon parcourt 173 toiſes par ſeconde, plus la vîteſſe du vent; & tout au contraire, ſi le vent eſt directement oppoſé. Et voilà pourquoi, lorſque le vent change de direction & de vîteſſe, on entend du même lieu certaines cloches que l'on ne peut entendre dans d'autres tems. Ainſi connoiſſant la vîteſſe du ſon accélérée par le vent, on pourra eſtimer la vîteſſe propre du vent: car ôtant de la vîteſſe accélérée 173 toiſes par ſeconde pour celle du ſon, le reſte ſera celle du vent.

4°. La vîteſſe du ſon eſt uniforme, c'eſt-à-dire, que dans des tems égaux & pris de ſuite, il parcourt toujours des eſpaces ſemblables.

5°. L'intensité ou la force du son ne change rien à sa vîtesse : quoiqu'un son plus fort s'étende plus loin qu'un plus foible, celui-ci parcourt comme l'autre 173 toises par seconde. XI. LEÇON.

Toutes ces connoissances, & les épreuves par lesquelles on les a acquises, fournissent des moyens prompts & commodes, pour mesurer l'étendue des lieux où les opérations géométriques ne sont point nécessaires ou pratiquables, comme la largeur des lacs ou des rivières à leur embouchure. Car puisqu'après avoir apperçû la lumière d'une arme à feu, chaque seconde de tems répond à une distance de 173 toises, c'est une chose fort aisée de sçavoir combien il s'est écoulé de secondes, jusqu'au moment où le bruit s'est fait entendre. Le même moyen peut être d'un grand secours dans un tems couvert pour des vaisseaux qui craignent de se briser contre les côtes ; car si au lieu d'un fallot, qui en pareil cas ne se voit pas de fort loin, on faisoit tirer de tems en tems quelques boëtes ou quelques coups de canon, cette lumière, qui est beaucoup plus active & plus per-

XI. LEÇON.

çante, indiqueroit bien mieux l'endroit que l'on doit aborder ou éviter, & le bruit qui succéderoit, en marqueroit la distance à des navigateurs attentifs.

Nous avons dit ci-dessus, que les corps sont d'autant plus sonores qu'ils ont plus de densité, & en même-tems plus de ressort: il en est de même de tous les milieux qui transmettent le son; & comme l'air est celui de tous, qui nous est le plus familier, nous nous y arrêterons par préférence.

V. EXPERIENCE.

PRÉPARATION.

A B, *Fig.* 10. est une planche fort épaisse sur laquelle sont élevés deux piliers *C*, *D*, qui reçoivent par en-haut une traverse *E F*; cette dernière pièce est assujettie par deux vis qui la font descendre autant qu'il est nécessaire, pour presser fortement un récipient de verre fort épais. Ce vaisseau repose d'une part sur des cuirs mouillés, & il est fermé par en-haut avec une platine de métal, garnie aussi d'un cuir mouillé par-dessous, de sorte

que

que l'intérieur du récipient, lorſqu'il eſt ſerré dans ſon chaſſis, ne communique qu'avec la pompe foulante *G*, par un petit canal où l'on a pratiqué un robinet. Cette pompe eſt tout-à-fait ſemblable à celle que nous avons décrite ci-deſſus * en parlant de la fontaine de compreſſion, c'eſt-à-dire, qu'il y a au bout, immédiatement avant le robinet, une petite ſoupape qui permet que l'air ſorte de la pompe, mais non pas qu'il y revienne du récipient lorſqu'on reléve le piſton: ainſi le robinet étant ouvert, on peut condenſer l'air dans le récipient, autour d'une ſonnette qui eſt ſuſpenduë de maniére qu'on peut la faire ſonner en balançant un peu le chaſſis.

XI. LEÇON.

* P. 229.

Comme l'air fortement condenſé fait un grand effort, c'eſt une ſage précaution à prendre que de revêtir le vaiſſeau d'une cage d'un gros fil de fer, afin que s'il vient à crever, les éclats ne cauſent aucun dommage.

Pour condenſer l'air en proportions connuës, il faut enfermer dans le récipient, un petit ſcyphon renverſé dont la branche la plus longue ſoit

XI. LEÇON.

fermée, & qui contienne, à l'endroit de sa courbure, un peu de mercure, ou de liqueur colorée, *Fig.* 11. car à mesure que l'air deviendra plus dense, en pressant par la branche la plus courte qui est ouverte, il forcera la liqueur de monter dans l'autre, & condensera l'air *a b* autant qu'il le sera lui-même : ainsi quand cette petite colonne d'air sera resserrée dans un espace d'un tiers ou de moitié plus petit qu'auparavant, (ce qu'on appercevra par les graduations marquées sur la planche,) on jugera que l'air du récipient est condensé d'un tiers, ou une fois davantage.

EFFETS.

Quand l'air a été condensé dans le récipient, le son que rend la sonnette est sensiblement plus fort qu'il n'a coûtume d'être, lorsque l'air est dans son état naturel ; car alors on l'entend de plus loin.

EXPLICATIONS.

Puisque le son consiste essentiellement dans les vibrations de toutes les parties qui composent le corps so-

nore, il doit y avoir plus de son partout où il se trouve plus de parties sonnantes, & un ressort plus actif: or ces deux choses se rencontrent; lorsque l'air est plus condensé: ses parties sont plus serrées; il y en a un plus grand nombre dans un espace donné, & le ressort de chacune de ces parties est plus tendu; l'air, en cet état, doit donc être plus sonore que quand il est plus rare. XL. LEÇON.

Hauxbée, auteur de cette expérience *, ne s'est point contenté d'apprendre en général que le son devient plus fort, lorsqu'on augmente la densité & le ressort de l'air; il a porté ses recherches jusques sur les proportions de cet accroissement. Avant que de condenser l'air, il a marqué la distance à laquelle on cessoit d'entendre la sonnette enfermée dans le récipient, puis l'ayant condensé une fois plus que dans son état ordinaire, il trouva que le son s'étendoit à une distance une fois plus grande; & qu'après avoir triplé la densité de l'air, on entendoit la sonnete de trois fois plus loin, &c.

* Trans. fact. phil. n. 325.

Que falloit-il conclure de ces ef-

XI. LEÇON.

fets ? que le ſon augmente en raiſon directe de la denſité de l'air ? non, le rapport eſt plus grand ; car quand on entend la ſonnette à une diſtance double, il faut qu'à une diſtance de moitié moins grande, le même ſon ſoit quatre fois plus fort, & en voici la raiſon.

Le corps ſonore communique de toutes parts ſes vibrations à l'air qui l'environne ; ſon action ſe propage donc par des rayons de ce fluide qui vont toujours en s'écartant les uns des autres comme ceux d'une ſphére & l'oreille qui écoute devient la baſe d'un cône d'air animé par le corps ſonore qui eſt au ſommet. *Voyez la Fig.* 12.

Or c'eſt une choſe connuë de tous ceux qui ont quelques notions de Mathématiques, que le cercle qui eſt deux fois plus grand qu'un autre, renferme par ſa circonférence un eſpace qui a quatre fois plus d'étenduë ; & pour exprimer cette proportion d'une maniére générale, les cercles ſont entr'eux comme les quarrés de leurs diamétres : ainſi le cône *abc*, a une baſe quatre fois plus étenduë que *ade*,

qui eſt une fois plus court ; car *de*, diamétre de celui-ci, n'eſt que la moitié de *bc*, diamétre de l'autre ; & par conſéquent, ſi l'ouverture de l'oreille qu'on ſuppoſe circulaire, eſt d'un diamétre égal à *de*, lorſqu'elle eſt placée à la 1re diſtance, elle reçoit quatre fois plus de rayons ſonnans qu'elle n'en reçoit à la 2de diſtance. XI. LEÇON.

Par la même raiſon elle en recevroit 9 fois moins à la 3me. 16 fois moins à la 4me. & comme 16 eſt le quarré de 4 ; 9 le quarré de 3 ; 4 le quarré de 2 ; on peut dire généralement que *le ſon décroît comme le quarré de la diſtance qui augmente.*

Mais puiſqu'ayant doublé la denſité & le reſſort de l'air tout enſemble, on entend le ſon deux fois plus loin qu'auparavant ; qu'avec un air 3 fois plus denſe, & 3 fois plus élaſtique, on l'entend à une diſtance 3 fois plus grande ; en ſuivant le principe que je viens d'expliquer ; il faut que l'intenſité du ſon ſoit, ou comme le quarré de la denſité, ou comme le quarré de l'élaſticité de l'air, ou bien comme le produit de l'une multipliée par l'autre. M. Zanotti curieux de ſçavoir la-

XI. LEÇON.

quelle de ces trois loix étoit celle de la nature, s'eſt enfin fixé à la troiſiéme, après des expériences autant ingénieuſes que délicates, & dont il faut voir le détail dans ſes ouvrages, ou dans les extraits* qu'on en a faits.

* *De Bononienſi Scient. & Art inſtituto Commentarii*, p. 176.

APPLICATIONS.

Il ſuit de ces principes fondés ſur l'expérience & ſur le raiſonnement, que les corps ſonores doivent ſe faire entendre plus fortement par un tems froid que lorſqu'il fait fort chaud, puiſqu'alors l'air eſt plus condenſé, & qu'il a plus de reſſort : mais cette augmentation de denſité n'eſt point aſſez conſiderable apparemment pour avoir un effet ſenſible à l'égard des ſons, ou bien comme ces changemens ſe font par degrés & lentement, ce qui en réſulte pour l'augmentation ou pour l'affoibliſſement des ſons, ne ſe fait point remarquer.

Tout le monde connoît l'effet des trompettes parlantes, ou *porte-voix* : le Chevalier Morland, & ceux qui ſe ſont appliqués comme lui à perfectionner cet inſtrument, ſemblent n'avoir eu en vûë que la direction des rayons ſonores, & avoir rapporté à

cette seule cause l'augmentation du son : c'est pourquoi M. Hase veut qu'il soit composé de deux parties, dont une soit elliptique, & l'autre parabolique, *Fig.* 13. & qu'elles ayent un foyer commun en *b*, afin, dit-il, que les rayons partant de l'embouchure *a*, premier foyer de la portion elliptique, & étant réfléchis de tous les poins *e, d, e, f*, &c. se croisent au foyer *b*, qui est commun à la portion parabolique, pour être ensuite réfléchis parallélement des points *h, i, k, l.* &c.

XI. LEÇON.

On ne peut nier assûrement que cette forme ou quelqu'autre peut-être encore plus avantageuse, ne contribuë beaucoup à augmenter le son dans la direction *a g*, ou suivant l'axe de l'instrument ; puisqu'il doit se trouver par ce moyen autant de mouvement dans la colonne d'air *i l m n*, qu'il y en auroit dans toute l'hémisphére, dont le centre seroit occupé par la bouche d'un homme qui parleroit sans porte-voix. Mais doit-on être satisfait de cette raison, quand on demande pourquoi à côté & derriere l'instrument, le son paroît encore si fort augmenté ? Comme la ré-

XI. LEÇON.

flexion du ſon ſuit les mêmes loix que celle de la lumiére, ſuppoſons que le porte-voix de M. Haſe ſoit poli intérieurement comme un miroir, & plaçons en *a* un point radieux comme une bougie ; que doit-il arriver ? la lumiére ſera condenſée, & il fera certainement plus clair en *mn*, qu'il n'y feroit ſans le ſecours de l'inſtrument ; mais tous les environs, au lieu d'être plus éclairés, ſeront dans une grande obſcurité. Il y a donc à l'égard du ſon quelqu'autre choſe qu'un mouvement réfléchi en conſéquence de la figure du porte voix ?

Oui ſans doute, & l'on peut dire en général que le ſon augmente toutes les fois que le corps ſonore imprime ſon mouvement à un air qui eſt appuyé ; la voix ſe fait mieux entendre dans les ruës d'une ville qu'en raſe campagne ; & mieux encore dans une chambre cloſe que dans la ruë ; c'eſt que les particules d'air qui ont été plus fortement pliées, font des vibrations plus grandes ; & l'air, comme tout autre reſſort, ſe comprime d'autant plus, qu'il ſe déplace moins pendant que la puiſſance comprimante agit ſur lui. Mais

Mais cette augmentation du ſon cauſée par l'immobilité de l'air eſt encore plus ſenſible, quand c'eſt un corps dur qui arrête & qui ſoutient les parties de ce fluide. Un Orateur ſe fait mieux entendre, quand il y a moins de monde pour l'écouter, & que le lieu où il parle n'eſt pas meublé; car alors le ſon, au lieu de s'amortir, comme il fait en frappant des corps mols & ſans réaction, revient ſur lui-même, ou ſe porte d'un autre côté, ſuivant la maniére dont il eſt réfléchi. Voilà pourquoi le bruit du tonnerre, celui du canon ou d'un fuſil, s'étend plus loin dans les vallées & le long des riviéres que dans le pays plat; & que dans les aqueducs & dans les autres ſouterrains voûtés, la voix la plus foible ſe porte intelligiblement d'un bout à l'autre. C'eſt encore par la raiſon d'un air immobile, (d'ailleurs fortement comprimé, & appuyé contre des parois fort dures) qu'un homme enfermé dans l'eau ſous la cloche du plongeur, penſa s'évanouir par l'étonnement que lui cauſa le ſon d'un cornet ou petit cor qu'il eſſaya d'emboucher. * XI. LEÇON.

* Sturm.

XI. LEÇON.

On doit expliquer par le même principe ce qui surprend les curieux dans ces édifices où la voix la plus basse se fait entendre d'un angle à l'autre, sans que les assistans qui sont placés par-tout ailleurs, puissent entendre un mot de ce qu'on dit; car ces angles sont ordinairement continués à la voûte, & ils contiennent une portion d'air qui ne se déplace point, & dans laquelle le son devient & se conserve plus fort; & la figure de la voûte occasionne des réflections telles qu'il les faut pour le transmettre.

Colleg. Curios. Tome II. tentam. 2.

Enfin quand la masse d'air qui reçoit le son, se trouve contenuë par des parois qui étant dures, sont encore minces & élastiques, au premier effet dont je viens de parler, il s'en joint un autre; non-seulement le son augmente en dedans, parce que l'air intérieur est solidement appuyé; mais ce même son augmenté se transmet aussi à l'air extérieur, parce qu'il frappe un corps élastique & qu'il le met en jeu. Pour preuve de ceci, que l'on supprime, que l'on créve, ou qu'on lâche seulement l'une des peaux d'un tambour; en frappant sur celle qui

reste, on n'en tirera pas autant de son qu'auparavant; d'où vient cette différence? c'est que l'air contenu dans la caisse n'a plus d'appui par en-bas, au lieu que quand il est appuyé sur une peau bien tenduë, il reçoit plus de mouvement, parce qu'il résiste davantage; & il le communique au-dehors, parce qu'il repose sur un corps élastique. XI. LEÇON.

Maintenant on voit bien pourquoi le son augmente non-seulement dans la direction du porte-voix, mais aussi dans tous les environs; car cet instrument, comme on sçait, est fait de feüilles de métal fort minces, & par conséquent très-propres à transmettre au-dehors le son qui augmente beaucoup au-dedans, parce que la masse d'air que la voix frappe, est contenuë par des parois fort dures.

Ce que je dis du porte-voix peut s'entendre de tout autre instrument, mêmes de ceux qui sont à cordes; car pourquoi faut-il, par exemple, qu'un clavessin ou une basse de viole, soit une caisse de bois mince & élastique? c'est que sans cela le son des cordes ne communiqueroit à un air vague &

XI. LEÇON.

sans appui, qui échapperoit, pour ainsi dire, à leur choc, au lieu qu'elles agissent sur une masse qui est comme forcée de recevoir d'elles un plus grand mouvement, & qui le transmet au-dehors par la réaction du bois.

Le son comme tout autre mouvement change de direction, lorsqu'il rencontre des obstacles qui ne l'absorbent point : & alors il suit la loi commune ; * l'angle de sa réflection devient égal à celui de son incidence.

* *Tome I. p. 289.*

Le son réfléchi que l'on nomme communément *Echo*, ne se distingue point du son direct, c'est-à-dire, de celui qui vient immédiatement du corps sonore, quand la réflection se fait de fort près; l'un & l'autre se confondent. Mais lorsqu'il y a une distance suffisante, comme le son qui vient par réflection, fait plus de chemin que celui qui vient directement, il arrive plus tard à l'oreille, & y répète la première impression. Supposons, par exemple, qu'une personne parle à voix haute, vis-à-vis d'un rocher *O*, éloigné de 173 toises ; *Fig.* 14. elle s'entendra parler dans le même instant ; mais le son qui ira

frapper en *O*, & qui reviendra à elle par réflection, employera deux secondes de tems à cauſe du double trajet de 173 toiſes. Et parce que le ſon qui va plus loin, met plus de tems pour aller & pour revenir, s'il y a des obſtacles en *P* & en *Q*, qui réfléchiſſent les rayons ſonores vers le même endroit, on y entendra ſucceſſivement deux, trois ou quatre échos. C'eſt encore par cette raiſon, qu'étant placé en *r*, *Fig.* 12. on entend d'abord le ſon de la cloche *a* par le rayon *ar*, & enſuite l'écho de la même cloche par les rayons *as*, *sr*.

XI. LEÇON.

Les échos ne ſe trouvent point en raſe campagne, mais très-communément dans les bois, dans les rochers & dans les pays montagneux, parce que le ſon y rencontre bien fréquemment des obſtacles qui le réfléchiſſent; on en a obſervé qui répétent un grand nombre de fois, comme celui de Woſtock, qui répéte diſtinctement 17 ſyllabes pendant le jour, & 20 pendant la nuit: * mais on a toujours obſervé en même tems que les dernières répétitions ſont plus foibles que les premières; ce qui eſt une

* *Rob. Plot. Hiſt. nat. de la Prov d'Oxford en Angleterre.*

XI. Leçon.

conſéquence néceſſaire ;

XI. LEÇON

qui viennent les dernie
plus de chemin que les an
ſon eſt un mouvement q
comme le quarré de la di
augmente, à moins que,
qui réfléchit les rayons ſont
ſoit d'une figure propre à d
leur divergence.

Fig. 12

Les échos deviennent quelq
des phénoménes fort ſinguliers,
rareté des circonſtances qui les
naître : à 3 lieuës de Verdun il
deux groſſes tours éloignées l'une
l'autre de 36 toiſes, lorſqu'on pa
un peu haut dans la ligne qui jo
ces deux édifices, la voix ſe répé
12 ou 13 fois, toujours en s'affoibli
ſant ; les deux tours ſe renvoyent
ſon alternativement, comme deux mi-
roirs qui ſe regardent, multiplient l'i-
mage d'une bougie placée entre eux :
* on voit encore la deſcription d'un
écho plus ſingulier dans les Mémoi-
res de l'Académie, imprimés avant
1700. ** On trouve aſſez facilement
la cauſe de tous ces effets, en étudiant
avec un peu d'attention, la nature &
la poſition des lieux, ou la figure de
tout ce qui eſt élevé ſur le terrain.

Fig

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc. 1710. pag. 28.*

** *Tom. X. pag. 187.*

Fig. 12.

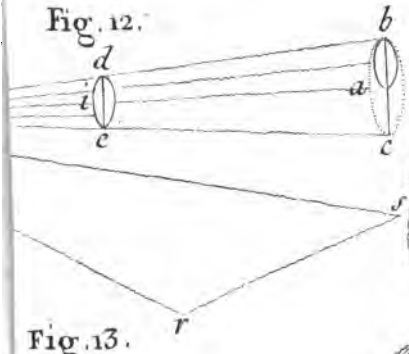


Fig. 13.

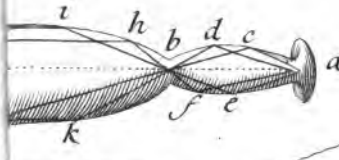
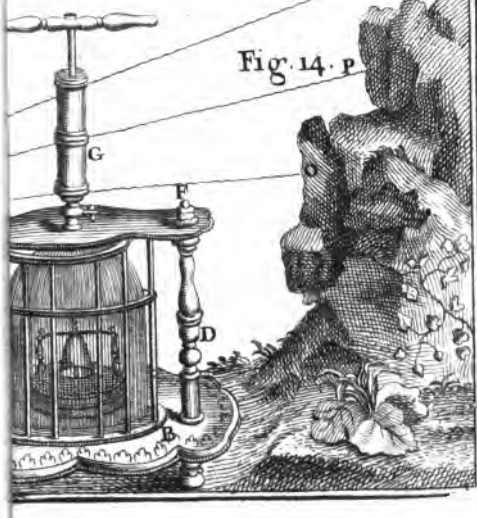


Fig. 14.



XI. LEÇON.

De l'Ouïe., & de son Organe.

Dans le premier volume de cet ouvrage j'ai fait une digreſſion ſur les ſens, où j'ai traité ſeulement du toucher, du goût & de l'odorat; on a dû voir par ce que j'en ai dit, que ces trois premiers ſens ne nous mettent en commerce qu'avec les objets qui agiſſent immédiatement ſur nous, ſoit par eux-mêmes, ſoit par leurs émanations. Mais à quoi en ſerions-nous réduits, s'il n'y avoit rien de ſenſible pour nous, que par des actions immédiates, ſi nous n'appercevions une bête féroce ou venimeuſe, que par ſa morſure, une pierre qui ménace notre vie, que quand elle commence à nous écraſer? Quel tableau ſeroit-ce que celui du monde, ſi tous les hommes reſſembloient à ces créatures imparfaites, qu'une ſurdité ou un aveuglement de naiſſance met hors d'état de participer à la plûpart des idées communes (*a*), & qui ſeroient plus malheureuſes encore, ſi plus favorable-

(*a*) Voyez l'hiſtoire d'un ſourd & muet de naiſſance, qui commença à entendre & à parler à l'âge de 24. ans. *Hiſt. de l'Academie des Sciences*, 1703, p. 18.

XI. LEÇON.

ment traités par la nature, nous n'étions capables d'adoucir un peu la rigueur de leur sort. Par le secours de l'ouïe & de la vûë nous sortons, pour ainsi-dire, de nous-mêmes; nous allons au-devant des objets; nous les jugeons de loin, & sur le rapport de ces deux sens, le désir ou la crainte nous fait prendre & les moyens & les précautions nécessaires à notre bien être.

On auroit peine à dire ce qui nous est le plus nécessaire, ou de la vûë ou de l'ouïe. C'est ordinairement en supposant la privation de l'une ou de l'autre, que l'on essaye d'en juger; mais bien souvent cette comparaison manque de justesse & conduit à un faux jugement, parce qu'on ne met pas les circonstances égales de part & d'autre. Il y a une grande différence à faire d'un aveugle ou d'un sourd de naissance, à celui qui a vû ou entendu jusqu'à un certain âge, & qu'un accident a privé de l'un de ces deux sens; je n'ai point assez médité sur les regrets d'un homme qui sçait qu'on peut voir, & qui n'a jamais vû, pour les comparer à ceux d'un autre hom-

me qui ſçait qu'on peut entendre, & qui n'a jamais entendu; j'ignore quelle eſt leur peine, & de quel côté il y en a davantage; mais à préſent que je ſçais combien il eſt difficile de faire naître des idées à quelqu'un qui n'entend point, & de combien de connoiſſances divines & humaines eſt privé un homme qui n'a pû avoir aucune éducation, j'aimerois mieux être né aveugle que ſourd. Je choiſirois tout différemment, ſi connoiſſant l'écriture, & les autres ſignes communs à la ſociété, il me falloit opter entre l'ouïe & la vûë; de ces deux biens le dernier me toucheroit davantage.

XI. LEÇON.

Cependant, dit-on, toutes choſes égales d'ailleurs, un ſourd eſt toujours plus triſte qu'un aveugle.

Si vous appellez triſteſſe, un air abſent & étranger à la converſation, vous avez raiſon; il n'y prend aucune part: mais en eſt-il plus affligé qu'un aveugle devant qui l'on diſpute de la beauté d'une étoffe? je ne le crois pas, à moins qu'il ne s'imagine qu'on parle de lui, ou de ce qui l'intéreſſe; & alors ce n'eſt plus ſimplement à un aveugle devant qui l'on diſpute

XI. LEÇON.

d'une étoffe, qu'il le faut comparer ; mais à un aveugle à qui il importe de sçavoir si cette étoffe est belle ou laide : je veux dire que les regrets de l'un & de l'autre sont égaux, quand l'intérêt est égal de part & d'autre ; mais je pense que l'aveugle a plus d'occasions de regretter, parce qu'on ne supplée point à la vûë, ni aussi facilement, ni aussi parfaitement qu'à l'ouïe. On a vû des gens qui étant devenus sourds à un certain âge, s'étoient fait une habitude d'entendre au seul mouvement des lévres. tout ce qu'on leur disoit, & même de converser ainsi avec d'autres sourds. *

* *Mem. de Trevoux Septembre 1701. p. 9. Transact. Philosoph. n. 312.*

Au reste pourquoi chercher quel est le plus avantageux de deux biens qui le sont peut-être également ? il semble que la nature l'ait décidé ainsi, puisque ne faisant jamais rien de superflu, elle a pourtant jugé à propos de nous donner deux oreilles, comme elle nous a donné deux yeux.

L'ouïe a pour objet le bruit & le son, dont nous avons parlé précédemment ; la différence qu'il y a entre l'un & l'autre, c'est que le premier est un trémoussement irrégulier

ou peut-être un assemblage de plusieurs sons qui font ensemble sur l'organe une impression confuse, au lieu que le son proprement dit consiste dans des vibrations régulières, homogènes, & qui se font sentir plus distinctement ; peut-être même les sons n'affectent-ils qu'une certaine partie de l'organe, & que le bruit les ébranle toutes en même tems. XI. Leçon.

L'oreille est l'organe de l'ouïe ; c'est par cette partie qui paroît extérieurement en forme d'entonnoir aux deux côtés de la tête, que le son s'introduit, pour aller toucher les fibres nerveuses, où s'accomplit la sensation. Je n'entreprendrai point une description anatomique & complette de cet organe : c'est aux gens de l'art à entrer dans ce détail, qui seroit peut-être déplacé ici ; le Lecteur qui en jugera autrement, trouvera bon que je le renvoye aux ouvrages qui ont été faits exprès sur cette matière, & nommément à celui de M. le Cat *, qui a comparé les desseins des plus grands Maîtres avec ses propres observations. Je me contenterai donc de nommer succinctement les princi-

* Traité des sens p. 275. Traité de l'Oreille de M. du Verney.

XI. LEÇON.

pales parties que la nature employe pour faire sentir les sons, & de les indiquer par des figures gravées d'après les meilleurs Anatomistes ; car mon dessein se borne à faire comprendte seulement, par quelle méchanique nous entendons les sons.

A B, *Fig.* 16. représente la partie extérieure de l'oreille, dont le fond qui est vers *C*, s'appelle *la Conque*. *C D* est le *Conduit auditif* vû extérieurement ; c'est un canal qui part de la Conque, & qui aboutit au *Timpan E* ; cette membrane mince qui se presente obliquement, n'est pas tout-à-fait plane, mais un peu concave du côté du conduit auditif : immédiatement après, en avançant vers l'oreille interne, sont quatre osselets qu'on appelle, à cause de leur figure, *l'Os orbiculaire* 1, *l'Etrier* 2, *l'Enclume* 3. & *le Marteau* : une partie de celui-ci que l'on a nommée *le Manche* 4, aboutit au centre du timpan, & sert à le tendre plus ou moins ; la premiére cavité qui est sous cette membrane, se nomme *la Caisse du Tambour* ; elle est pleine d'air, & communique avec la bouche par un canal *F f* qui se nomme

XI. LEÇON.

La Trompe d'Euſtache ; de ſorte que l'air du tambour communiquant toujours avec l'air extérieur, fait équilibre à celui qui remplit le conduit auditif ; à la caiſſe du tambour répond une autre partie de l'oreille, qu'on nomme *Labyrinte*, compoſé du *veſtibule G*, des trois canaux ſémicirculaires *H*, *I*, *K*, & du *limaçon L*, que je vais décrire ſéparément.

Le limaçon eſt un cône un peu écraſé, *Fig.* 17. enveloppé d'un conduit qui, comme un pas de vis, fait à-peu-près deux ſpires & demie, *Fig.* 18.

Ce conduit qui va toujours en s'étréciſſant, eſt diviſé dans toute ſa longueur par une cloiſon membraneuſe dont les fibres tendent à l'axe du cône qui lui ſert de noyau, *Fig.* 19. C'eſt cette partie qu'on nomme *Lame ſpirale*, & qui va toujours en s'étréciſſant comme le conduit qu'elle partage, depuis la baſe du cône juſqu'à la pointe. Ainſi les fibres qui compoſent ſa largeur, deviennent toujours de plus en plus courtes, en approchant du ſommet du cône.

Le conduit ſpiral partagé en deux

XI. LEÇON.

par la cloiſon dont je viens de parler, a néceſſairement deux orifices *M*, *M*, dont un aboutit au veſtibule du labyrinte, & l'autre à la caiſſe du tambour.

Enfin le nerf auditif *O* ſe diviſe en pluſieurs branches qui paſſent dans le veſtibule, & ſe ſubdiviſent en une infinité de petites fibres qui ſe diſtribuënt à toutes les parties du labyrinthe : voilà à-peu-près quelle eſt la ſtructure de l'oreille ; en voici maintenant les fonctions.

La conque, parce qu'elle eſt évaſée preſque en forme d'entonnoir, reçoit les rayons ſonores en plus grande quantité, & leur action ſe tranſmet par le conduit auditif juſqu'à la membrane du tambour où ſe fait la première impreſſion. Si cette membrane eſt lâche, les ſons foibles s'y amortiſſent ; & ne paſſent pas outre ; ou bien, s'ils paſſent, leur impreſſion eſt ſi peu ſenſible ; que l'ame n'y fait point attention. Voilà pourquoi, lorſque nous ſommes occupés d'ailleurs, il peut ſe faire auprès de nous des petits bruits ou des ſons médiocres qui nous échappent. Mais ſi le

XI. LEÇON.

timpan eſt bien tendu, (& c'eſt ce qui arrive quand on écoute,) le moindre ſon ſe communique par cette membrane élaſtique à la maſſe d'air qui eſt dans la caiſſe du tambour; & de cet air il paſſe à celui qui eſt dans le labyrinthe dont toutes les parties ſont révêtuës des petites fibres du nerf auditif.

Un trop grand bruit fatigue l'oreille & va quelquefois juſqu'à rendre ſourdes pour un tems, & même pour toujours, les perſonnes qui s'y ſont expoſées: c'eſt qu'une impreſſion trop forte ſur cette organe, comme ſur les autres, engourdit les parties qui ſont délicates, ou en derangent l'œconomie. Après un grand bruit, les ſons foibles ſont à l'oreille, ce qu'eſt à l'œil une petite lumiére après une grande illumination.

Tout le monde ſçait, & les enfans mêmes n'ignorent pas qu'on entend le ſon bien plus fortement, quand on tient le corps ſonore dans les dents, ou qu'on a la bouche ouverte deſſus; c'eſt qu'alors les vibrations ſe communiquent à l'air du tambour par la trompe d'Euſtache; & cette

XL. LEÇON. action, qui est comme immédiate, doit se faire sentir bien plus fortement que celle qui se transmet par le tympan ; c'est un moyen de mieux entendre, que l'on voit assez souvent mettre en usage par les gens qui ont l'ouïe un peu dure : ils ouvrent la bouche quand ils écoutent avec beaucoup d'attention.

Il suit de cette observation, que la membrane du tambour, ou le tympan, n'est point une partie essentiellement nécessaire pour la perception des sons, puisqu'ils pourroient se transmettre immédiatement à l'air qui est dans la caisse ; & l'expérience a prouvé que cette conséquence est juste ; car des chiens à qui l'on avoit ôté cette membrane, ne devinrent point sourds, aussi-tôt après cette opération * ; mais l'expérience même a fait voir que sans cette espèce de barrière, les autres parties ne peuvent se conserver long-temps, puisque ces animaux, quelques semaines après, n'entendoient plus, comme auparavant, la voix de ceux qui les appelloient.

* Willis, de l'ame des bêtes, c. 14.

On est parfaitement d'accord sur l'existence

l'existence du timpan, sur la place qu'il occupe, & même sur ses fonctions; mais on ne l'est pas de même, quand il s'agit de sçavoir, si cette espèce de diaphragme ferme absolument le conduit auditif, ou s'il peut s'ouvrir sans sortir de son état naturel; les uns * tiennent pour cette dernière opinion & citent l'expérience de certaines gens qui font sortir par leurs oreilles la fumée du tabac qu'ils ont retenu dans leur bouche; les autres soutiennent le contraire, & s'appuyent sur l'expérience d'un habile Anatomiste *, qui ayant rempli de mercure l'oreille d'un sujet mort, ne put jamais faire passer ce minéral de la caisse du tambour dans le conduit auditif. L'expérience des fumeurs doit-elle être regardée comme un effet contre nature, auquel cas elle ne prouveroit rien? ou bien la mort donne-t-elle au timpan une adhérence invincible qu'il n'auroit pas dans le sujet vivant, ce qui rendroit l'expérience faite avec le mercure aussi peu concluante? Tout l'embarras de cette décision cesse, quand on sçait que la fumée ne passe point, comme

XI. LEÇON.

* Dionis, demonstr. anatom. 8.

* Valsava, de aure humana, c. 2. §. 8.

XI. LEÇON.

on le dit, par l'oreille; & que ce prétendu fait n'est au fond qu'une supercherie, par laquelle certaines gens en imposent à ceux qui sont assez crédules pour se rendre aux premières apparences, ou trop peu instruits pour les approfondir, comme je l'ai appris d'un de nos Anatomistes * dont les lumières & la candeur sont très-connues, & qui m'a dit s'en être assuré par l'aveu même de plusieurs soldats des Invalides qui prétoient vanité de rendre la fumée par les oreilles.

* M. Morand, de l'Acad. des Scienc. & chargé par la Compagnie de vérifier les faits.

Comme la propagation des sons se fait selon les mêmes loix que celles de la lumière, on peut rassembler les rayons sonores, & les condenser comme ceux qui viennent d'un objet lumineux. Que l'on fasse donc un cornet de figure parabolique, A, au fond duquel aboutisse un petit canal, dont on placera le bout dans la conque de l'oreille, alors tous les rayons parallèles, comme $a\,b$, $c\,d$, seront rassemblés en f, foyer de la parabole, & augmenteront considérablement la force du son dans le conduit auditif.

Mais comme ces instrumens acoustiques ne doivent avoir d'autre effet

que de renvoyer le son à l'oreille de celui qui s'en sert, il faut empêcher qu'ils ne le transmettent autour d'eux comme le porte-voix ; c'est pourquoi je voudrois qu'on les fît de bois tal bien poli, afin que par-lou- reté & par la régularité de leur surface, la réflection des rayons fût plus complette, mais qu'on amortît leur ressort, en les couvrant par-dehors avec une peau de chagrin, ou avec quelque chose d'équivalent.

XI. Leçon.

M. Le Gat*, frappé de ce que la nature a pratiqué dans l'organe de l'ouïe plusieurs cavités remplies d'air a imaginé, pour aider les personnes qui ont de la peine à entendre, un double cornet qui est représenté par la *Fig.* 21. & dont l'ouverture *C D* peut avoir 2 pouces $\frac{1}{2}$ ou 3 pouces de diamétre. Dans l'opinion où je suis que l'augmentation du son, par ces sortes d'instrumens, vient autant de l'immobilité de l'air, que d'une réflection bien ménagée des rayons sonores, je penserois volontiers qu'on ne pourroit tirer avantage de cette nouvelle invention qui n'a point encore été éprouvée.

* Traité des sens. 292.

XI. LEÇON.

Des Sons comparés.

Ce que j'ai dit précédemment touchant la nature du son en général, doit faire comprendre que les corps sonores sont capables d'exciter en nous différentes sensations, non-seulement parce qu'étant plus denses ou plus élastiques les uns que les autres, ils peuvent agir plus puissamment ou plus long-temps, mais encore parce que leur ressort étant plus ou moins tendu, doit être susceptible de vibrations plus ou moins fréquentes : & en effet, tout le monde s'aperçoit que le son d'une cloche & celui d'une sonnette, diffèrent beaucoup entr'eux, & pour le peu qu'on y fasse attention, on reconnoît aisément qu'il y a dans cette différence quelque chose de plus que le degré de force ; car quand on seroit fort près de la sonnette, & très-éloigné de la cloche, l'organe seroit encore affecté d'une manière bien différente par ces deux sons. Il en est de même d'une corde, quand on prendroit soin de la pincer toujours également fort,

si elle est plus ou moins tenduë, le son change; & l'on n'apperçoit d'autre cause de cet effet, qu'une roideur plus ou moins grande dans les parties, d'où il doit résulter un frémissement plus ou moins prompt.

XI. LEÇON.

Ce sont ces différentes manieres de son, qui procedent de la fréquence plus ou moins grande des vibrations dans les parties du corps sonore, que l'on appelle *tons*, & dont la comparaison harmonieuse fait l'objet de la musique, de cet art merveilleux qui a tant de pouvoir sur l'ame, & dont tant de personnes sont occupées aujourd'hui, soit par goût, soit par profession.

On distingue tous les tons en *graves* & en *aigus*. On appelle grave celui d'un corps sonore, dont les parties frémissent beaucoup plus lentement que celles d'un autre à qui on les compare, pour [ce qui est la même chose,] qui, dans un certain tems, fait bien moins de vibrations que lui. On voit par cette définition, que le ton n'est grave ou aigu que par comparaison à un autre ton; & que l'une ou l'autre de ces deux qualités peut varier au-

XI. LEÇON.

tant qu'il peut y avoir de différences entre les nombres de vibrations que les corps sonores peuvent faire dans un tems donné.

Mais quoique les tons puissent varier presque à l'infini, eu égard à la comparaison des nombres, leurs différences se renferment dans des bornes beaucoup plus étroites, si l'on s'en tient au sensible; car l'oreille la plus délicate ne distingue ces nuances, que quand il y a un intervalle assez considérable entre les nombres qui les produisent. Par exemple, si l'on tend une corde de clavecin, de maniere qu'elle fasse 200 vibrations dans une seconde, elle aura un certain ton; si elle se trouve ensuite un peu plus tenduë, & que dans un pareil tems elle fasse 201, 202, ou 203 vibrations, elle aura sûrement un ton plus aigu physiquement, mais non pas sensiblement, parce que le nombre des vibrations qu'elle fait en dernier lieu, n'est point assez différent du nombre de celles qu'elle fait d'abord.

Lors donc que l'on touche deux corps sonores ensemble, comme deux cordes de clavecin ou de vielle,

leurs vibrations ont néceſſairement un certain rapport de nombres entr'elles deſorte qu'après un certain période, les deux cordes recommencent en même-tems; & c'eſt cette eſpèce de réünion périodique, que l'on nomme *accord* ou *conſonance*. XI. LEÇON.

Les accords ſont d'autant plus parfaits, que les vibrations rentrent ou ſe réüniſſent plus ſouvent, ou que leurs nombres, pour chaque tems, différent moins entr'eux. On appelle *uniſſon*, l'accord de deux cordes dont les vibrations ſe font une pour une; celle des deux qui fait deux vibrations contre une, donne l'*octave* au-deſſus; ſi elle en fait trois contre deux, elle donne *la quinte*; quatre contre trois, *la quarte*; cinq contre quatre, *la tierce majeure*; ſix contre cinq, *la tierce mineure*.

Mais, comme on voit, tous ces accords d'une corde avec l'autre, n'ont rien d'abſolu; le ton que je nomme octave, quinte, &c. deviendroit tout d'un coup toute autre choſe, ſi je changeois le ton de l'autre corde, qui me ſert d'objet de comparaiſon. Il en eſt de même du ſon

XI. LEÇON.

que je nomme grave ou aigu ; il change de dénomination ſans changer de nature, toutes les fois que le ſon auquel je le compare vient à changer.

C'eſt un inconvénient conſidérable en muſique de n'avoir pas un ton fixe & invariable, que l'on puiſſe toujours retrouver, & auquel on rapporteroit tous les autres. Cette eſpêce de ſifflet dont on ſe ſert pour déterminer le ton des voix & des inſtrumens dans un concert, ou ces flûtes que l'on dit être au ton de l'Opéra, ne ſont point des moyens sûrs pour éviter toute variation ; l'expérience fait voir que tous les inſtrumens de cette eſpêce, comme les autres, ne gardent pas conſtamment leur état ; mais quand ils pourroient le garder, s'ils viennent à ſe perdre ou à ſe caſſer, comment retrouver le véritable ton ?

De tous les Phyſiciens, qui ſe ſont propoſés de procurer à la muſique ce ton fixe tant déſiré, perſonne que je ſache n'a travaillé avec plus de zéle & plus de ſuccès que M. Sauveur ; quoiqu'à dire vrai, les moyens qu'il a imaginés, ne me paroiſſent point encore marqués au coin de cette ſimplicité

plicité qui annonce une invention de pratique. C'eſt dans ſes propres écrits ou dans les extraits qu'on en a faits, * qu'il faut voir quelles ont été ſes recherches à ce ſujet, & juſqu'à quel point il a réuſſi. Je me contenterai de dire ici que cet ingénieux & ſçavant Academicien, pour déterminer & fixer un ſon au-deſſous duquel on prît la ſuite des tons graves, & au-deſſus, celle des tons aigus, mit à profit une remarque qu'il fit, & qu'une oreille un peu attentive peut faire, en entendant accorder deux tuyaux d'orgues. La rentrée ou la réunion de leurs vibrations ſe fait ſentir par un ſon plus fort; & le tems qui ſe paſſe d'une réunion à l'autre eſt quelquefois aſſez ſenſible pour être meſuré. On ſçait, par la nature des accords, combien il faut que dans deux tuyaux faſſe de vibrations dans le même tems que l'autre en fait un certain nombre; que des deux tuyaux accordés à l'octave, par exemple, l'un fait deux vibrations pendant que l'autre en fait une ſeulement. Si l'intervale d'une rentrée à l'autre étoit aſſez ſenſible, on pourroit donc ſçavoir combien de tems

XI. LEÇON.

* *Hiſt. de l'Academie des Scienc. 1700. pag. 134.*

XI. LEÇON.

employent celui-ci pour faire deux, celui-là pour faire une vibration. Ainſi le tems pendant lequel ſe font les vibrations d'un certain ton étant déterminé par l'expérience, & le nombre des vibrations qui font les autres tons pendant le même tems, étant connus d'ailleurs, M. Sauveur prend pour le ſon fixe, celui qui fait 100 vibrations en une ſeconde; & il appelle *octave-fixe-aiguë*, celle qui eſt au-deſſus, c'eſt-à-dire, le ſon qui fait 200 vibrations en une ſeconde; & *octave-fixe-grave*, celle qui eſt au-deſſous, ou le ſon qui fait 50 vibrations en une ſeconde.

M. Sauveur ayant trouvé par expérience qu'un tuyau d'orgues d'environ 5 pieds ouvert, rendroit ce ſon fixé dont je viens de parler, compara cette longueur à celles des deux autres tuyaux dont l'un rendoit le ſon le plus grave, & l'autre le ſon le plus aigu que l'oreille humaine pût diſtinguer; & ayant examiné, par la comparaiſon de leurs dîmenſions, combien chacun pouvoit faire de vibrations dans le tems d'une ſeconde, il trouva que le ſon le plus grave que nous puiſſions diſtinguer

vient d'un corps ſonore qui fait 12. vibrations $\frac{1}{2}$ par ſeconde, & que le ſon le plus aigu fait en pareil tems 6400 vibrations, & comme $12\frac{1}{2}$ eſt à 6400 à-peu-près dans le rapport de 1 à 512, on peut conclure que l'oreille eſt ſuſceptible de 512 degrés de ſenſations.

Si l'on a une fois un ton fixe par le moyen des tuyaux d'orgues, on peut l'avoir pour toutes ſortes d'inſtrumens; car une corde de viole, une flûte, un haut-bois, &c. peut ſe mettre à l'uniſſon avec le tuyau qui donnera le ton fixe.

La grandeur des vibrations ne fait rien au ton: quand le corps ſonore vient d'être touché, elles ſont d'abord plus étenduës, & le ſon en eſt plus fort; mais quoiqu'enſuite elles deviennent plus petites, & que le ſon s'affoibliſſe en conſéquence, le ton ſubſiſte le même juſqu'à la fin, parce que les vibrations, quoique moins grandes à la fin qu'au commencement, ſont toujours de la même durée: c'eſt la propriété des corps à reſſort. Ceci ne doit pourtant s'entendre que du ſon principal, de celui que toute oreille entend, dès que le corps

XI. LEÇON.

sonore a été frappé ; car lorsqu'on y fait plus d'attention, & à mesure que le son principal s'affoiblit, on distingue assez souvent d'autres tons, dont nous essayerons de rendre raison ci-après.

Une corde fait des vibrations d'autant plus fréquentes, & par conséquent rend un son d'autant plus aigu, qu'elle est plus courte, ou moins grosse, ou plus tenduë. Si l'on veut donc en accorder deux qui soient de même matiére, il faut avoir égard à ces trois choses, à leurs longueurs, à leurs grosseurs, & à leurs degrés de tension.

1°. Si deux cordes également longues & grosses ne différent que par le degré de tension, leurs vibrations, quant au nombre, sont comme les racines quarrées des puissances ou des forces qui les tiennent tenduës.

C'est-à-dire, que si elles étoient tirées par des poids, & que l'une des deux le fût par un poids d'1 livre, & l'autre par un poids de 4. livres : comme la racine quarrée de 4 est 2, & que celle d'1 est 1 ; les vibrations de ces deux cordes, quant au nombre, seroient dans le rapport de 2 à 1 : &, suivant le même principe, les

XI. LEÇON.

vibrations seroient dans le rapport de 3 à 2, si les poids qui tendent les cordes étoient, l'un de 9, & l'autre de 4. livres; parce que la racine quarrée de 9 est 3, & que celle de 4 est 2.

2°. Si les cordes également grosses, également tenduës, ne different qu'en longueur, le nombre de leurs vibrations en tems égaux, est en raison inverse de leur longueur.

C'est-à-dire, que celle qui est une fois plus courte, fait une fois plus de vibration que l'autre, & que celle qui est comme 2 à 3 par rapport à l'autre, fait 3 vibrations contre 2, &c.

3°. Si les cordes ne different qu'en grosseur, elles font des vibrations dont les nombres sont en raison réciproque des diamétres. (a)

C'est-à-dire, que si l'une des deux est une fois plus grosse, elle fait une fois moins de vibration que l'autre, dans un tems donné. Si les diamétres sont entr'eux comme 3 & 2, la plus grosse des deux ne fait que 2 vibrations contre 3, &c.

(a) Céci ne doit s'entendre que des effets sensibles, & non pas selon la rigueur mathématique: voyez-en les raisons, *Mem. de l'Ac. des Sc.* 1709. *p.* 47. *& suiv.*

XI. LEÇON.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 22. repréſente un inſtrument qu'on peut nommer *Sonométre*, parce qu'il ſert à meſurer & à comparer les ſons. C'eſt une caiſſe longue montée ſur un pied qui eſt compoſé de deux montans & d'une traverſe; la table qui eſt de ſapin peut avoir trois pieds de longueur ſur 4 pouces de largeur; & elle eſt percée de trois roſettes à-peu-près ſemblables à celle d'une guitarre ou d'un tambourin. A l'une des deux extrêmités ſont deux léviers angulaires, qui reſſemblent à ceux dont on ſe ſert pour les ſonnettes dans les appartemens, & dont les bras forment un angle droit. Aux bras de ces léviers ſont attachés d'une part deux poids *A*, *B*, que l'on peut changer; & de l'autre, deux cordes de violon que l'on tend avec les chevilles *C*, *D*, qui ſont à l'autre bout de la caiſſe. Ces deux cordes paſſent ſur deux chevalets fixes *E*, *F*, qu'elles touchent à peine, & ſur leſquels lorſqu'elles ſont tenduës, on les ar-

rête, par le moyen d'une vis qui pouſſe deſſus une petite piéce de bois. Il y a encore un autre chevalet *G*, qui gliſſe dans une couliſſe d'un bout à l'autre de la caiſſe, dont le bord eſt diviſé en pouces & en lignes; de ſorte qu'en appuyant un peu le bout du doigt ſur une des deux cordes, on peut la mettre en tel rapport de longueur que l'on veut avec l'autre, ſans changer ſenſiblement ſon degré de tenſion. Quand on veut tendre les cordes dans des proportions connuës, on attache des poids dont on ſçait la valeur, en *A* & en *B*, & l'on tourne les chevilles *C*, *D*, juſqu'à ce que les bras des leviers faſſent des angles droits, tant avec les cordes ſonores, qu'avec celles qui ſuſpendent les poids.

EFFETS.

1°. Les deux cordes étant de même groſſeur, & tenduës avec des poids ſemblables, donnent l'uniſſon lorſqu'elles ſont également longues; l'octave, quand l'une des deux eſt moitié plus courte que l'autre; la quinte, quand elles ſont l'une d'un

tiers plus courte que l'autre.

XI. LEÇON.

2°. Les deux cordes étant de la même longueur & de la même groſſeur s'accordent à l'octave, quand l'une eſt tenduë par un poids d'une livre, & l'autre par un poids de 4 livres: elles s'accordent à la quinte, quand les deux poids qui les tiennent tenduës, ſont l'un de 4 & l'autre de 9 livres.

3°. Les deux cordes étant également longues, & tenduës par des poids égaux, ſont d'accord à l'octave, quand l'une eſt une fois plus groſſe que l'autre; à la quinte, quand le diamétre de l'une eſt à celui de l'autre comme 3 à 2.

EXPLICATIONS.

On ſçait par tout ce qui a été dit précédemment, que les tons dépendent d'un certain nombre de vibrations qui fait le corps ſonnore, dans un tems déterminé; & que les accords ne ſont autre choſe que les différens rapports de ces nombres entr'eux. Ainſi, puiſque je ſçais que l'octave doit s'entendre, toutes les fois qu'il y a deux vibrations contre

une ; la quinte, quand il y en a 3 contre 2, &c. je puis donc, en toute sûreté, conclure ces rapports de nombres, par les accords que j'entends ; ainsi quand les deux cordes de mon fonométre sont à l'unisson, quelle que puisse être alors la longueur, grosseur, ou tension de chacune, il est certain que leurs vibrations sont isochrones ; c'est-à-dire, qu'elles en font une pour une, ou un même nombre en même tems : & de même quand elles sont d'accord à l'octave, ou à la quinte, & je puis dire, c'est que les vibrations qu'elles font dans un tems donné, sont dans le rapport de 1 à 2, de 3 à 2, &c. XI. LEÇON.

Or, on a vû, par les résultats précedens, qu'en réglant la longueur, la grosseur, & le degré de tension des cordes comme nous avions dit *, qu'il falloit faire pour avoir certains rapports dans les nombres des vibrations, il en résulte des accords qui dépendent essentiellement de ces proportions, & qui ne vont point sans elles. Il est donc évidemment prouvé par notre expérience, que les vibrations sont, comme nous l'avons

* p. 460. & 461.

XI. LEÇON.

dit, d'autant plus promptes que la corde ſonore eſt plus courte, plus menuë ou plus tenduë, & que leur frequence ſuit les rapports que nous avons établis.

Ce que dit l'expérience à cet égard ſe trouve parfaitement d'accord avec le raiſonnement. Car puiſque tous les corps à reſſort ont des vibrations d'autant plus promptes, que leurs parties ſont plus roides, une corde qui eſt plus tenduë, & dont les parties ſont plus tirées, doit faire des vibrations plus promptes, & rendre par conſéquent un ſon plus aigu: & au contraire, celle qui l'eſt moins, & dont les parties ſont plus lâches, doit avoir des vibrations moins fréquentes, ce qui lui donne un ſon plus grave. Or une corde eſt moins tenduë qu'une autre, quoiqu'elle ſoit tirée par un même degré de force, ſi elle eſt plus longue ou plus groſſe, parce qu'alors cette force qui la tend agit ſur un plus grand nombre de parties, qui partagent ſon effort; & par conſéquent chacune d'elles, conſidérée comme un petit reſſort ſe trouve moins tenduë qu'elle ne le ſeroit, ſi

elle faiſoit partie d'une corde, ou plus fine ou plus courte.

APPLICATIONS.

L'expérience précédente nous apprend pourquoi dans tous les inſtrumens de muſique, la partie ſonore, c'eſt-à-dire, celle qu'on touche pour exciter les ſons, eſt toujours diſpoſée de maniére qu'on en peut changer facilement ou les dîmenſions, ou le degré de tenſion. Car c'eſt par ces ces deux moyens qu'ils ſont propres à exprimer la compoſition du Muſicien. Les chanterelles d'une vielle, par exemple, montées à l'uniſſon, figurent les airs, parce que les touches que l'on pouſſe les accourciſſent plus ou moins pour former les tons. Au violon, ce ſont les doigts qui font l'office dés touches en ſerrant les cordes ſur les diviſions du manche. Au clavecin, ou chaque corde eſt fixée à un ſeul ton, l'étenduë du jeu vient d'un plus grand nombre de cordes, & de leurs différentes longueurs & groſſeurs.

Dans un inſtrument à vent, c'eſt encore en changeant les dîmenſions

XI. LEÇON.

du corps ſonore, que l'on acquiert une ſuite de tons plus graves ou plus aigus les uns que les autres. Une flûte ou un flageolet contient une colonne d'air, qui eſt à proprement parler, la partie ſonore de cet inſtrument, comme je l'ai déja dit ci-deſſus. Mais cette colonne d'air change en quelque façon de longueur, ſelon le nombre des trous que l'on débouche ou que l'on tient fermés: puiſque chacun de ces trous faiſant communiquer l'air extérieur avec celui du tuyau, empêche que ce dernier ne reçoive dans toute ſon étenduë, ou d'une maniére complette, les vibrations qui viennent de l'embouchûre.*

* *Voyez l'explicat. de M. Euler. tentamen. novum theor. muſica.*

L'organe de la voix pourroit être comparé aux inſtrumens à vent, pourvû néanmoins qu'on n'y cherchât point une ſimilitude fort exacte; car nous ne voyons pas que l'art en ait encore produit aucun qui imite d'aſſez près la nature. La *trachée-artére G g, H h, Fig.* 23. ce canal par où l'air qu'on reſpire entre dans les poulmons, eſt terminé vers la bouche par une petite fente ovale *k*, qu'on nomme *la Glotte*. La reſſemblance qu'elle

Fig. 19.

Fig. 17.

a avec une flûte, avoit fait croire anciennement, que la voix se formoit dans cette partie comme le son dans ces sortes d'instrumens. Mais M. Dodard considérant que le son d'une flûte est excité par l'air qui entre dans le tuyau, au lieu que la voix l'est communément par celui qui sort de la trachée, se détermina à croire, avec toute sorte de vraisemblance, que la glotte est l'organe principal, & que le canal qu'elle termine ne fait que l'office de porte-vent.

Selon le système de cet habile Physicien, * l'air sortant avec plus ou moins de vîtesse par la glotte, qui a pour cet effet la faculté de se dilater & de se retrécir, forme des sons plus ou moins graves. Le son formé de cette maniére va retentir dans la cavité de la bouche, & dans celle des narines; & en sortant il s'articule par le mouvement de la langue & des lévres. Ainsi la trachée fournit l'air, la glotte forme la voix, & en régle le ton, la langue & les lévres en font des paroles.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc. 1700. page 244.*

Voilà, dit-on, comme les choses se passent pour l'ordinaire; mais on

XI. LEÇON.

peut cependant parler & chanter en aſpirant ; & il y a des gens qui, par habitude, ou par une certaine diſpoſition d'organes, font entendre une voix ſourde & étouffée qui ſe forme par l'air qui entre dans la trachée: on les appelle *Ventriloques ;* c'eſt-à-dire, qui parlent du ventre. On les regardoit autrefois comme magiciens & comme poſſédés du démon ; il ſe trouve même de bons auteurs * à qui il paroît que cette façon de parler en a impoſé auſſi-bien qu'au peuple.

* *Liranus in cap. 28. Deut. Caſſerius, de vocis organo.*

Si l'on doit attribuer les différens tons de la voix ou du chant aux différentes ouvertures de la glotte, il faut que ſon petit diamétre qui n'a au plus qu'une ligne, puiſſe changer 9632 fois de longueur, ſelon le calcul de M. Dodard ; pour fournir à toutes les différentes nuances de tons dont la voix humaine eſt ſuſceptible. Une telle diviſion peut-elle avoir lieu dans une ſi petite étenduë ? c'eſt-ce qu'on a peine à concevoir. La glotte feroit-elle donc l'office d'une anche de haut-bois ou de muſette, qui, comme l'on ſçait, n'eſt chargée que de produire le ſon, & non pas les

tons ; & le canal de la bouche qui s'allonge, se retrécit, & se dilate suivant la qualité des tons, feroit-il celui d'un chalumeau qui contient plus ou moins d'air, & qui devient capable par-là d'un son plus ou moins grave ? ou bien ces deux parties concourroient-elles ensemble à la formation des tons, l'une comme une anche qui deviendroit plus ou moins grande, plus ou moins élastique, l'autre comme un tuyau qui changeroit de dimensions ?

XI. LEÇON.

M. Ferrein vient de répandre un grand jour sur cette question, en prouvant, par des expériences aussi décisives qu'elles sont ingénieuses & délicates, que les deux lévres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre à la maniére d'une anche ; mais que chacune d'elles frottée par l'air qui vient des poulmons, résonne comme une corde sur laquelle on traîne un archet. Ces observations lui ont fait connoître, que les bords de ces deux lévres sont des cordons tendineux attachés de part & d'autre à des cartilages qui servent à les tendre plus ou moins : il trouve dans ces

XI. LEÇON.

différens degrés de tenſion dont ces parties ſont ſuſceptibles, une explication naturelle de tous les tons dont la voix humaine eſt capable ; car on ſçait en genéral, qu'une corde plus ou moins tenduë rend un ſon plus ou moins aigu,

Mais comment M. Ferrein a-t'il pû ſçavoir que les deux lévres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre ; que le ſeul retréciſſement de cette partie ne ſuffit pas pour faire monter la voix des tons graves aux tons aigus ; & que l'air lancé des poulmons par la trachée artére donne un mouvement de vibration à ces corps tendineux, qu'il a nommés pour cela *Cordes vocales* ? ne faudroit-il pas avoir vû l'action même de ces parties pour juger de la maniére dont elle ſe fait ? & comment porter la vûë ſur un méchaniſme que la nature n'a point mis à la portée de nos yeux.

L'ingénieux auteur de ces découvertes, ne pouvant point tenter ces expériences ſur des ſujets vivans, imagina de rendre la voix aux morts. Il adapta un ſoufflet à des trachées toutes fraîches ; l'air qu'il fit paſſer avec

précipitation

précipitation par la glotte rendit des sons, & ses conjectures devinrent des connoissances. *Voyez les Mém. de l'Académ. des Sc. année* 1741. *p.* 409.

XI. LEÇON.

Quand une fois la voix est formée, & que son ton est réglé, il faut, pour être agréable, qu'elle sorte & par la bouche & par le nez ; elle est tout-à-fait différente de ce qu'elle a coûtume d'être, lorsqu'elle ne résonne que dans l'une de ces deux cavités ; on n'aime point à entendre quelqu'un qui parle ou qui chante ayant les narines bouchées : on dit communément qu'il parle du nez ; expression tout-à-fait impropre, comme on voit, puisque c'est justement quand on n'en parle point, qu'on s'attire ce reproche.

On conçoit, sans aucune difficulté, comment deux corps sonores exécutent séparément leurs vibrations, comment l'un des deux, par exemple, en achéve 4 pendant que l'autre n'en fait que 2 ou 3, parce que la fréquence de ces vibrations dépend d'un certain degré de ressort que chacun possède séparément. Mais comment est-ce que deux tons différens subsistent en même-tems dans le même air,

XI. LEÇON.

si les tons ne sont dans l'air, que ce qu'ils sont dans le corps sonore, une fréquence déterminée de vibrations ? comment la même masse d'air peut-elle rendre distinctement & en même tems les sons de deux cordes qui sont à l'octave l'une de l'autre, si celle-ci exige 100 vibrations, & celle-là 200. par seconde ?

Ce n'est encore là que la moitié de la difficulté ; car quand bien même ces deux mouvemens pourroient se communiquer & se conserver sans confusion dans le même air, il reste encore à sçavoir par quel moyen l'organe qui reçoit en même tems les deux impressions, n'éprouve point une sensation mixte ou composée de l'une & de l'autre, comme l'œil voit du vert, quand il est frappé en même tems par deux rayons, dont l'un est jaune & l'autre bleu.

On ne s'est jamais trop mis en peine de répondre à la derniére de ces deux questions ; quant à la premiére, on a prétendu le faire, en comparant le mouvement de l'air qui transmet les sons aux ondulations circulaires qu'on fait naître dans une eau tran-

quille lors qu'on y jette des pierres. Car de même, dit-on, que ces ondulations s'entre-occupent sans se confondre, & s'étendent séparément jusqu'au bord du bassin, de la même maniére aussi l'air se charge de différens tons ensemble, & les transmet sans confusion jusqu'à l'oreille.

XI. LEÇON.

Mais, outre que ce n'est point expliquer un phénoméne que de le comparer à un autre; cette comparaison même est défectueuse, & l'on voit évanoüir presque toute similitude, quand on fait attention à la nature des mouvemens de part & d'autre. Lorsqu'une pierre tombe dans l'eau, elle abbaisse la partie du fluide qui se trouve sous elle, & en même tems elle éléve les parties voisines; chacune de ces parties soulevées retombe avec accélération plus bas que son niveau, & fait monter celle qui est immédiatement après, ce qui continuë jusqu'à ce que tout ait repris son équilibre. Ces balancemens se faisant dans une infinité de rayons qui partent d'un centre commun, représentent à l'œil ces ondulations circulaires dont il s'agit, qui se ralentissent à

XI. LEÇON.

mesure qu'elles s'étendent, & qui deviennent d'autant plus lentes qu'elles sont plus foibles, soit par la cause qui les a fait naître, soit par le trajet qu'elles ont déja fait. Mais le mouvement du son dans l'air est toute autre chose; ce sont les vibrations d'un fluide élastique qui se transmettent avec une vîtesse uniforme, & qui ne deviennent ni plus promptes ni plus lentes, quand leur grandeur vient à varier.

D'ailleurs quand les ondulations de l'eau s'entrecoupent, on ne peut nier qu'à l'endroit du choc, le mouvement ne se compose des masses & des vîtesses des parties qui se rencontrent, & qu'un corps placé à cette intersection ne dût recevoir le mouvement composé. Il n'en est pas de même de deux sons qui agissent sur le même organe; chacun fait son impression comme s'il étoit seul, & l'oreille les distingue par des sensations différentes, quoique simultanées. Ainsi la comparaison des ondes n'explique rien, & laisse subsister en leur entier, les deux difficultés que j'ai exposées.

M. de Mairan, après avoir donné

des preuves évidentes de cette disparité, propose sur la propagation des sons, un système si simple, mais en même-tems si heureusement imaginé, qu'on oublie bien-tôt que c'est une hypothése, quand on l'applique aux phénoménes ; il a cela de commun avec celui des couleurs, comme son auteur ressemble à Newton par bien des endroits.

XI. LEÇON.

S'il étoit question de décider, si les molecules qui composent la masse de l'air sont toutes égales entr'elles, ou s'il y en a de plus petites les unes que les autres à toutes sortes de dégrès, & qu'il fallût adopter l'une de ces deux suppositions, quel parti faudroit-il prendre ? lequel des deux paroîtroit le plus vraisemblable ? comme ces molécules sont des assemblages fortuits de parties plus subtiles, qui se joignent & se désunissent par mille causes différentes, ne feroit-on pas porté à croire qu'elles diffèrent de grandeur à l'infini, plûtôt que de supposer gratuitement, qu'elles se ressemblent toutes parfaitement ?

Cette pensée sur laquelle est fondé tout le système de M. de Mairan,

XI. LEÇON.

est la seule qui ne soit que vraisemblable ; toutes les autres sont de conséquences si nécessaires de ce principe, (si une fois on l'admet,) qu'on ne peut point s'y refuser.

Si les molécules de l'air sont de différentes grandeurs, elles doivent différer aussi par leurs dégrés de ressort, comme une même lame d'acier feroit des ressorts plus roides les uns que les autres, si elle étoit divisée en portions inégales. Par-tout où l'on place un corps sonore, il doit donc trouver dans la masse commune, des particules d'air dont le ressort est analogue au sien, & capables par conséquent de recevoir, de conserver, & de transmettre ses vibrations. Ainsi deux cordes de différens tons se font entendre par la même masse d'air, mais par différentes parties de cette masse. Suivant cette explication, on conçoit facilement comment les tons ne se confondent point dans le fluide qui les transmet ; car de cette manière, ce fluide, eû égard à ses différentes parties, peut se prêter à des vibrations plus fréquentes les unes que les autres.

XI. LEÇON.

Quand à l'impreſſion des ſons ſur l'organe, il faut ſe ſouvenir que la lame ſpirale, qu'on doit regarder comme la partie principale, eſt un aſſemblage de fibres qui vont toujours en diminüant de longueur, depuis la baſe juſqu'à la pointe du limaçon, à-peu-près comme les cordes d'un pſalterion ou d'un clavecin; chacune a une élaſticité proportionnelle à ſa longueur, ce qui la rend propre à être ébranlée par des vibrations d'une certaine fréquence ſeulement. Ainſi, quand deux tons parviennent à l'organe en même-tems, chacun d'eux fait ſon impreſſion ſur le fibre dont le reſſort eſt analogue à la fréquence de ſes vibrations, & ces deux ſenſations ſéparées font naître deux idées diſtinctes: en un mot il arrive aux fibres de la lame ſpirale ce qu'on remarque aux cordes d'un clavecin, ou à tout autre corps ſonore dont on prend le ton; ſi l'on touche une corde, on fait réſonner celle qui eſt à l'uniſſon, non-ſeulement ſur le même inſtrument, mais même ſur un autre qui ſeroit placé à côté; ſi l'on parle à voix haute dans un magaſin de verre-

XI. LEÇON.

ries, dans un boutique de Chaudronnier, dans un office où il y a beaucoup de vaisselle creuse, on entend toujours résonner quelque piéce, tandis que les autres restent en silence; & si l'on change de ton c'est une autre piéce qui répond.

Mais, dira-t'on, comment se peut-il faire qu'une corde que l'on met en jeu, choisisse précisément les molécules d'air qui lui conviennent; & que l'air intérieur de l'oreille qui reçoit son mouvement à travers la membrane du tembour, attaque avec un pareil choix les fibres qui ne sont propres à sentir qu'un certain son?

Cette corde ne choisit point en effet, & l'air de l'oreille frappe indifféremment toute la lame spirale; mais les effets sont les mêmes que s'il y avoit du choix: car quoique plusieurs corps qui ont différens degrés de ressort, commencent leurs vibrations en même-tems, si la cause qui les entretient est fixée à un certain degré de fréquence, ces vibrations ne peuvent continuër que dans ceux dont le ressort est analogue à cette fréquence; car ceux qui seroient de nature

XI. LEÇON.

ture à faire, par exemple, une vibration & demie contre une, ne se trouveroient point à tems comme les autres, pour recevoir la seconde impulsion : & leur mouvement devroit se ralentir ou cesser. Le corps sonore agit donc d'abord sur toutes les molécules d'air qui l'entourent ; mais il ne continuë efficacement son action que sur celles qui sont propres à se mouvoir précisément comme lui. C'est la même chose pour les fibres de la lame spirale : & comme nos sensations ne s'accompliſſent que par un ébranlement d'une certaine durée, la premiére secousse qui attaque toute la partie indistinctement, est déja passée, lorsque l'ame s'apperçoit de l'impression qui continuë, sur les fibres qui sont propres à cette espéce de mouvement.

Il ne faut pas croire cependant, qu'une corde que l'on pince, ne mette & n'entretienne absolument en jeu que les particules d'air qui ont une analogie précise avec son ressort, elle agit aussi sur celles qui sont *harmoniques* : c'est-à-dire, dont les vibrations recommencent avec les siennes après

XI. LEÇON.

un certain nombre, & elle agit plus fortement sur celles qui sont plus harmoniques ou plus prochainement rentrantes. La même corde fait donc résonner d'abord & beaucoup plus fortement que les autres, les particules d'air qui sont propres à faire autant de vibrations qu'elle, & c'est ce qui fait le ton principal; ensuite, & avec moins de force, celles qui ne font qu'une vibration contre deux; après ces dernières, & encore plus foiblement, celles qui ne font que deux vibrations contre trois, &c. de sorte qu'on peut dire qu'un seul & même corps sonore fait toujours un petit concert: à la vérité, ces sons harmoniques sont couverts par le son principal: mais quand celui-ci vient à s'affoiblir, une oreille un peu délicate n'a pas de peine à les distinguer.

On pourroit demander ici, 1^ment, pourquoi nous n'entendons qu'une fois le même son, quoique nous ayons deux oreilles aussi sensibles l'une que l'autre: 2^ment, par quelle raison, parmi tant de différens tons, il y en a qui se font mieux entendre que

d'autres à certaines gens qui ont l'ouïe dure ; 3^ment, comment les bruits ou les ſons d'une certaine eſpèce, ou d'une certaine force, nous remuënt les entrailles, nous font du plaiſir ou de la peine. XI. LEÇON.

L'unité de ſenſation, quoique produite par deux impreſſions diſtinctes, vient ſans doute de ce que le ſon attaque des parties parfaitement pareilles, & qui ont un point de réünion commun dans le cerveau ; & il eſt à préſumer qu'on n'entendroit point de l'une des deux oreilles le ſon qui frapperoit d'un côté la 4e fibre de la lame ſpirale, par exemple, & de l'autre la 6e de la membrane du même nom. Ce n'eſt point le ſeul exemple qu'il y ait dans la nature, de deux organes ſemblables qui ne repréſentent qu'une fois leur objet, quoiqu'ils agiſſent également. Ordinairement nous ne voyons point double, quoiqu'il ſoit conſtant que l'image ſe peint également dans les deux yeux ; & c'eſt par une raiſon aſſez ſemblable à celle que je viens d'expoſer ; & que je détaillerai en parlant de la viſion.

L'efficacité de certains ſons préfé-

XI. LEÇON.

rablement à d'autres qui ſont même quelquefois plus forts, pourroit-être attribuée à quelque vice de la lame ſpirale qui ne l'occuperoit pas toute entiére. Si, par exemple, les deux extrêmités de cette partie étoient devenuës moins ſenſibles que le milieu, par quelque accident que ce pût être, la perſonne qui auroit cette maladie n'entendroit facilement que les tons mitoyens entre les plus graves & les plus aigus; & dans la quantité de monde qu'elle verroit, il ſe trouveroit infailliblement quelqu'un dont le ton de la voix ſe porteroit à cette partie ſaine, & qui ſe feroit entendre ſans parler plus haut que de coûtume.

Enfin les mouvemens que nous reſſentons au dedans de nous-mêmes, lorſque nous entendons des ſons ou des bruits d'une certaine eſpêce, s'expliquent encore avec facilité, (ſi l'on ne cherche que la cauſe génerale,) par différentes impreſſions qui ſe font ſur le genre nerveux, qui s'étend à toutes les parties de notre corps. Car les nerfs ſont comme des cordes élaſtiques différemment tenduës, plus groſſes & plus longues les unes que

XI. LEÇON.

les autres. Or parmi toutes ces espèces de tremoussemens que les corps sonores peuvent imprimer à l'air qui nous touche de toutes parts, il est presqu'impossible qu'il n'y en ait quelqu'une, dont les fibres nerveuses de certaines parties ne soient susceptibles. Lorsque l'impression est douce & modérée, nous la ressentons avec plaisir; mais quand elle est trop forte, qu'elle tend à détruire ou à déranger l'œconomie des parties, l'ame qui veille à la conservation du corps qu'elle anime, la désapprouve, s'inquiéte; & c'est ce qu'on nomme *déplaisir* ou *douleur*.

Voilà en gros comment les sons, selon leur espèce, excitent nos passions: certains airs inspirent la molleſſe & l'amour de la volupté; d'autres la hardiesse & le courage; ceux-ci la tristesse, ceux-là la gayeté, &c. mais s'il falloit désigner les causes prochaines, & dire déterminément pourquoi telle musique affecte de telle maniére, l'entreprise, je crois, seroit téméraire; il faudroit connoître plus à fond ce que nous sommes, & la liaison qu'il y a entre nos différentes facultés.

XI. LEÇON.

L'hiſtoire de la Tarentule, ſi elle eſt vraïe, (a) eſt un exemple fort ſingulier des effets de la muſique ſur le corps humain : la piquûre de cet inſecte, qui eſt une groſſe eſpêce d'araignée aſſez commune en Italie, envenime, dit-on, le ſang, & cauſe des accidens très-fâcheux, qui vont quelquefois juſqu'à la mort. Quand on s'apperçoit que quelqu'un a cette maladie, on eſſaye en ſa préſence différens airs, & différens inſtrumens, juſqu'à ce qu'on ait trouvé celui qui convient pour la guériſon ; on s'en apperçoit à certains geſtes & à certains mouvemens cadencés par leſquels le malade s'agite : on dit alors qu'il danſe, peut-être auſſi improprement que les Anciens diſoient qu'on meurt en riant quand on a mangé de la ciguë, à cauſe de quelques grimaces qu'ils voyoient faire en expirant, à ces ſortes d'empoiſonnés. Quoiqu'il en ſoit, ces agitations & ces ſauts excitent ordinairement une tranſpiration ſalutaire, qu'on a ſoin

(a) Depuis la 1re. édition de ce Vol. j'ai eu occaſion de voir M. Serrao ſçavant Médecin de Naples, qui m'a inſpiré beaucoup de défiance ſur tout ce que l'on raconte de la Tarentule. Voyez ſon Ouvrage *della Tarantola*.

de réïtérer de tems en tems par le même moyen, juſqu'à ce que les ſymptômes ceſſant, annoncent que tout le venin eſt diſſipé. XI. LEÇON.

Ce n'eſt pas ſeulement dans cette maladie que la muſique peut avoir de bons effets; on a vû des gens attaqués de fiévres chaudes, être touchés d'un air de violon, ſe lever, ſauter, ſuer de fatigue, & être guéris. *

Enfin on attribuë auſſi au bruit du tonnerre nombre d'effets merveilleux, & dont pluſieurs ſemblent avoir de la réalité; mais eſt-ce le trémouſſement ſeul que ce météore excite dans l'air qui en eſt la cauſe? ou bien doit-on s'en prendre aux exhalaiſons qui régnent très-communément dans les tems d'orage? c'eſt ce qu'il n'eſt pas facile de décider.

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc.* 1702. pag. 22.

Des Vents.

Le Vent n'eſt autre choſe qu'un air agité, une portion de l'atmoſphére qui ſe meut comme un courant avec une certaine vîteſſe & avec une direction déterminée.

Ce météore, eû égard à ſa direction, prend différens noms ſelon les

XI. LEÇON.

différens points de l'horifon d'où il vient. On appelle vent de Nord, de Sud, d'Eſt ou d'Oueſt, celui qui ſouffle de l'un de ces quatre points cardinaux. Vent de Nord-Eſt, de Sud-Oueſt, &c. celui qui tient le milieu entre le Nord & l'Eſt, entre le Sud & l'Oueſt, &c. vent de Nord-Nord-Eſt, de Sud-Sud-Oueſt, &c. celui qui tient une fois plus du Nord que de l'Eſt, une fois plus du Sud que de l'Oueſt, &c. Communément cette diviſion des vents va juſqu'à trente deux. *Voyez la Fig.* 24. elle pourroit aller plus loin, s'il étoit poſſible d'obſerver toutes leurs variations.

On peut diſtinguer principalement trois ſortes de vents : les uns qu'on appelle *généraux* ou *conſtans*, parce qu'ils ſoufflent ſans ceſſe dans une certaine partie de l'atmoſphére ; tels ſont ceux qu'on nomme *alliſés*, & qui régnent continuellement entre les deux tropiques, & à quelque diſtance aux environs : les autres, qui ſont *périodiques*, qui commencent & finiſſent toujours dans certains tems de l'année, ou à certaines heures du jour, comme les *mouſſons* qui ſont

Sud-Eſt, depuis Octobre juſqu'en Mai, & Nord-Oueſt depuis Mai juſqu'en Octobre entre la côte de Zanguebar & l'Iſle de Madagaſcar, ou bien le *vent de terre* & le *vent de mer* qui s'élévent toujours, celui-ci le matin & l'autre le ſoir. D'autres enfin qui ſont *variables*, tant pour leur direction, que pour leur vîteſſe & pour leur durée. XI. LEÇON.

L'hiſtoire des vents eſt aſſez paſſablement connuë, par les obſervations de pluſieurs Phyſiciens qui ont voyagé, ou qui ſe ſont appliqués dans leur pays pendant nombre d'années à la connoiſſance de ce météore. Mr. Muſchenbroek en a fait une diſſertation fort curieuſe, * où il a fait entrer non-ſeulement ce qu'il a obſervé lui-même, mais encore tout ce qu'il a pû recueïllir des écrits de MM. Halley, Derham, &c. ſon ouvrage ſe trouve par-tout; j'y renvoye le lecteur. Mais il s'en faut bien que nous ſoyons autant inſtruits touchant les cauſes; j'entends les plus éloignées, celles qui occaſionnent les premiers mouvemens dans l'atmoſphére: car on ſçait en général que les vents vien-

* *Eſſais de Phyſ. tome 2. p. 878.* *Voyages de Dampier tome 2.*

nent immédiatement d'un défaut d'équilibre dans l'air ; parce que toutes les fois que certaines portions de l'atmosphére deviennent plus chargées, plus denses, plus élévées ou plus pressées que les autres, étant alors plus pésantes, elles doivent s'échapper, s'écouler, par où il y a moins de résistance, & pousser devant elles les autres parties qui sont plus foibles, à peu près comme l'eau d'un canal, soulevée dans un endroit par une pierre qu'on y jette, se meut par ondes d'un bout à l'autre; mais qui est-ce qui a jetté la pierre, quand nous voyons l'atmosphére s'agiter ? Voilà ce qu'on ne sçait que fort imparfaitement.*

XI. LEÇON.

* Voy. les Oeuvres de Mariotte, p. 340.

Les Physiciens qui ont raisonné sur cette matiére, conviennent tous que les vents peuvent être occasionnés par plusieurs causes différentes ; le froid & le chaud qui ne régnent que dans une portion de l'atmosphére y changent la densité de l'air, & par conséquent son volume, soit en plus, soit en moins ; & alors les parties voisines sont poussées plus loin, ou bien elles se rapprochent davantage. Si la cause qui raréfie l'air est

réglée & continuelle, on conçoit bien que cette régularité influë sur le vent qu'elle produit ; ainsi c'est avec vraisemblance qu'on attribuë les vents qui régnent de l'Est à l'Oüest dans la Zone torride, au mouvement journallier de la terre : car cette portion de l'atmosphére qui est renfermée entre les deux tropiques, présentant successivement toutes ses parties au soleil, souffre par la chaleur de cet astre des raréfactions qui changent continuellement, & avec régularité, l'équilibre de l'air ; & comme le mouvement apparent du soleil s'étend en six mois de l'un à l'autre tropique, ces vents généraux doivent souffrir quelques variations périodiques, & rélatives aux différens aspects du soleil, comme on l'observe effectivement. Des exhalaisons qui s'amassent & qui fermentent ensemble dans la moyenne region de l'air, peuvent encore occasionner des mouvemens dans l'atmosphére ; c'est la pensée de M. Homberg & de quelques autres sçavans : & si les vents peuvent naître de cette cause, comme il est probable, on ne doit point être surpris

XI LEÇON.

qu'ils soufflent par secousses & par bouffées, puisque les fermentations auxquelles on les attribuë, ne peuvent être que des explosions subites & intermittantes.

Ces fermentations arrivent très-fréquemment dans les grottes souterraines, par le mêlange des matiéres grasses, sulfureuses & salines qui s'y trouvent; aussi plusieurs Auteurs ont-ils attribué les vents accidentels à ces sortes d'éruptions vaporeuses. Connor rapporte * qu'étant allé visiter les mines de sel de Cracovie, il avoit appris des Ouvriers & du maître même, que des recoins & des sinuosités de la mine, il s'éléve quelquefois une si grande tempête, qu'elle renverse ceux qui travaillent, & emporte leurs cabanes: Gilbert, Gassendi, Scheuchzer, &c. font mention d'une grande quantité de cavernes de cette espéce, d'où il sort quelquefois des vents impétueux, qui prenant leur naissance sous terre, se répandent & continuënt quelque tems dans l'atmosphére.

* *Dissert. Medico-phys. Art. III. p. 33.*

On cite encore l'abbaissement des nuages, leurs jonctions, & les gros-

ſes pluyes, comme autant de cauſes qui font naître, ou qui augmentent le vent; & en effet une nuée eſt ſouvent prête à fondre par un tems calme, lorſqu'il s'éléve tout-à-coup un vent très-impétueux; la nuée preſſe l'aïr entr'elle & la terre, & l'oblige à s'écouler promptement.

Enfin, s'il eſt permis de hazarder des conjectures après ces probabilités, ne pourroit-on pas encore attribuër l'origine du vent à la grande quantité d'air qui ſe dégage des mixtes, en certains lieux & en certaines ſaiſons? car nous avons fait voir à la fin de la Leçon précédente, que cet air, lorſqu'il eſt dégagé, tient beaucoup plus de place dans l'atmoſphére, qu'il n'en occupoit dans les matiéres dont il faiſoit partie. Or en automne, par exemple, s'il fait un tems humide & chaud qui procure une prompte & abondante putréfaction des plantes & des feüilles qui ſont tombées des arbres, l'atmoſphére doit s'enfler au-deſſus des endroits où ces effets arrivent; elle doit refluer ſur les parties voiſines; celles-ci ſur d'autres, & peut-être aſſez ſen-

siblement, pour faire ce qu'on nomme du vent.

XI. LEÇON.

On pourroit pousser cette idée plus loin, en la prenant par le côté opposé ; s'il étoit vrai que la décomposition des mixtes, pût rendre assez promptement une quantité d'air capable d'interrompre l'équilibre de l'atmosphére, on pourroit penser aussi qu'au printems & dans les endroits où la nature travaille le plus à toutes ses productions, il doit s'absorber beaucoup d'air, & qu'il peut se trouver telles circonstances, où l'équilibre de l'atmosphére en pourroit être altéré. Mais ne nous livrons point avec trop de confiance à une imagination, qui n'est rien moins que fondée en preuves solides.

Plusieurs Physiciens ont essayé de mesurer la vîtesse des vents, en lui donnant à emporter des petites plumes & d'autres corps légers ; & en examinant combien il leur faisoit faire de chemin dans un tems déterminé. Mais quoique ces sortes d'expériences paroissent très-simples & d'une extrême facilité ; ceux qui les ont faites, sont si peu d'accord entr'eux

sur les réſultats, qu'on n'en peut rien conclure de certain. M. Mariotte conclut la vîteſſe du vent le plus impétueux de 32 pieds par ſeconde, & M. Derham la trouve de 66 pieds d'Angleterre en pareil tems, c'eſt-à-dire, environ une fois plus grande; d'où peut venir cette différence? c'eſt que ces deux Sçavans n'avoient point de règle pour juger préciſément, quel eſt le vent le plus impétueux; & apparemment le premier a pris pour le plus fort de tous, un vent qui pouvoit l'être une fois plus.

XI. LEÇON.

Les girouettes ordinaires, comme on ſçait, enſeignent la direction du vent: mais elles ne l'enſeignent qu'à ceux qui peuvent porter la vûë au haut des édifices où elles ſont placées, & qui ſe ſont orientés, c'eſt-à-dire, qui connoiſſent les points principaux de l'horiſon du lieu. Pour rendre l'uſage de cet inſtrument plus commode, au lieu de faire tourner la girouette ſur ſa tige, on l'y attache de maniere qu'elle la faſſe tourner avec elle; & à l'autre bout de cette tige, qui répond, ſi l'on veut, dans un appartement, on pratique un pignon

XI. LEÇON.

qui mene une rouë dentée, & cette rouë, une aiguille qui marque les vents sur un cadran. *Voyez les Récréations Mathématiques d'Ozanam. Tom. 2. pag. 45. Edit. 1694.*

La force du vent, comme celle des autres corps, dépend de sa vîtesse & de sa masse, c'est-à-dire, de la quantité d'air qui se meut; ainsi le même vent fait d'autant plus d'effort que l'obstacle sur lequel il agit, lui présente directement plus de surface; c'est pour cette raison qu'on déploye plus ou moins les voiles d'un vaisseau, qu'on habille plus ou moins les aîles d'un moulin à vent, & que les arbres sont moins sujets l'hyver que l'été, à être rompus par la violence des vents, parce que dans la premiére de ces deux saisons n'étant point garnis de feüilles, ils leur donnent moins de prise.

On peut connoître la force rélative des vents par le moyen d'un petit moulin, dont l'arbre est garni d'une fusée conique, sur laquelle on enveloppe une corde qui tient un poids suspendu; car en exposant cette machine à l'air libre, & dans une direction

tion convenable, le petit moulin tourne d'abord, & s'arrête enſuite, quand le poids qui tire ſur la fuſée, lui fait équilibre; or comme les rayons de cette fuſée ſont connus, ou faciles à connoître, on peut aiſément comparer les forces qui ont fait équilibre aux vents en différens tems. XI. LEÇON.

Parmi toutes les machines propres à meſurer les vents, & que l'on nomme pour cette raiſon *Anémométres*, je n'ai rien vû de plus ingénieux & de plus complet que celle de M. le Comte d'Ons-enbray. qui eſt décrite fort au long dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année 1734. Non-ſeulement elle marque la vîteſſe & la direction du vent; mais elle en tient compte pour l'obſervateur abſent, & l'on voit aprés 24 heures, quels vents ont régné, & quelles ont été pendant cet eſpace de tems la durée & la vîteſſe de chacun.

La nature qui ne fait rien d'inutile, ſçait mettre les vents à profit: ce ſont eux qui tranſportent les nuages pour arroſer & fertiliſer les différentes parties de la terre; ce ſont eux qui les diſſipent pour faire ſuccéder le

calme à l'orage ; c'eſt par ces mou-
XI. LEÇON. vemens & par ces agitations que l'air ſe renouvelle & ſe purifie, & que le chaud & le froid ſe tranſmettent d'un pays à l'autre. Il arrive auſſi quelquefois que l'on perd au change : car ſi le vent vient d'un lieu mal ſain, il en apporte les mauvaiſes qualités, & ſert de véhicule à la contagion ; mais ce ſont des cas particuliers & aſſez rares qui ne l'emportent point ſur une infinité d'autres avantages que nous tirons du vent.

On eſt ſurpris de voir naître certaines plantes au ſommet d'une tour ſur le tronc d'un arbre, &c. où l'on n'a pas lieu de croire que perſonne ait pris la peine de les ſemer ; c'eſt l'ouvrage du vent qui éleve la terre en pouſſière, & enſuite les ſemences que l'eau du ciel fait germer. C'eſt par la même cauſe que le gramen & toutes les herbes des champs ſe multiplient & croîſſent dans une quantité d'endroits, où l'on voudroit ſouvent qu'elles ne vinſſent point.

L'art imitant la nature, a trouvé dans les vens de puiſſans moteurs, qui nous procurent de grandes com-

modités, & qui étendent prodigieusement notre commerce : combien la navigation ne seroit-elle pas bornée, si les vaisseaux n'alloient qu'à force de rames, comme les galéres ? les voyages de long cours seroient impraticables par leur lenteur, & par les fraix d'équipages : au lieu qu'à l'aide des vents, & des voiles qui en reçoivent l'impulsion, un petit nombre de matelots, au fait de la manœuvre, conduit avec beaucoup de diligence, une petite armée de soldats, ou un magasin énorme de marchandises. d'un bord à l'autre de l'Océan.

XI. Leçon.

Quels secours ne tirons-nous pas des moulins à vent, pour moudre le grain, extraire l'huile des semences, fouler les draps, scier les planches, broyer les couleurs, ou autres matiéres, &c. combien d'hommes ou de chevaux ne faudroit-il pas employer, pour faire toute la farine que le vent prépare à Montmartre, ou ailleurs aux environs de Paris ? Tous ces travaux s'opérent à peu de fraix, par le moyen de quatre aîles qui font l'office de léviers, & qui présentent leur plan d'une maniére

XI. LEÇON.

oblique à la direction du vent : la puissance qui agit continuellement sur ces quatre plans inclinés, les oblige de reculer sans cesse ; ce qu'ils ne peuvent faire qu'en tournant, & en faisant tourner l'arbre auquel ils sont fixés.

C'est par une méchanique assez semblable que les enfans trouvent le moyen d'enlever ces espèces de chassis couverts de papier, qu'ils appellent *cervolans* ; car la corde avec laquelle ils les retiennent, est toujours attachée de façon que ce plan se présente obliquement à la direction du vent, & alors l'impulsion de l'air tend toujours à le faire monter, en décrivant l'arc d'un cercle qui a pour rayon la ficelle que tient en sa main celui qui gouverne le cervolant. Mais comme il faut que l'axe *AB* soit toujours incliné au vent *CD*, d'une certaine quantité, au-dessous & au-delà de laquelle l'impulsion n'auroit plus l'effet qu'on en attend, on a soin de faire filer la corde ; & par ce moyen le cervolant se trouvant à l'extrêmité d'un arc semblable, mais d'un plus grand cercle, son axe *a b* est toujours

Fig. 20.

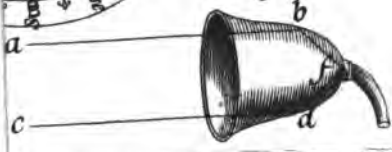
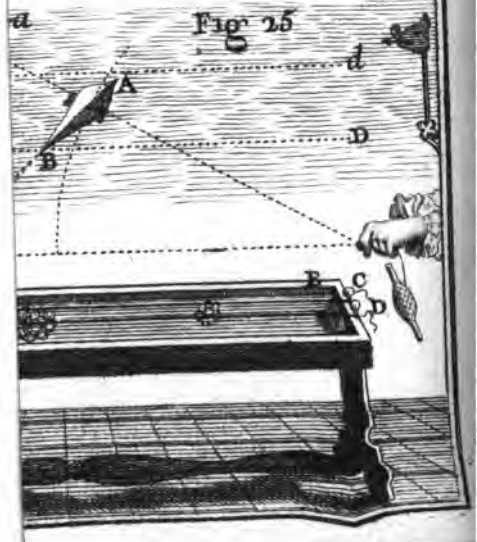


Fig. 25



également incliné au vent *cd*; & le dégré d'élévation eſt plus grand. *Voyez la Fig.* 25.

XI. LEÇON.

Le ſecours du vent eſt ſi commode, & ſes avantages ſont ſi bien connus de tout le monde, que quand il n'en fait pas, ou que nous ne ſommes pas à portée d'en profiter, nous prenons la peine de nous en procurer artificiellement : on agite l'air avec un éventail, ou autrement pour ſe donner du frais; le forgeron ſe ſert d'un ſoufflet pour animer ſon feu; & le boulanger nettoye ſon bled, en le faiſant paſſer devant une eſpêce de roue garnie de quatre volans qu'il fait tourner, pour jetter l'air deſſus, & emporter la pouſſiére : ce criblé qui vient originairement d'Allemagne, a été perfectionné & connu à Paris & aux environs, par les ſoins de M. d'Hecbourg, ancien Officier d'Artillerie; je ſçais par moi-même, & par le grand débit que je lui ai vû faire de cette machine, combien elle eſt utile à ceux qui ont beaucoup de grain à nettoyer & à conſerver.

Fin du troiſiéme Volume.

TABLE DES MATIERES

Contenuës dans le troiſiéme Volume.

IX. LEÇON.

Sur la Méchanique.

PRELIMINAIRE dans lequel on établit certaines notions néceſſaires pour l'intelligence des Matiéres contenuës dans cette Leçon. *page* 1

PREMIERE SECTION. Du Lévier. 16

I. EXPERIENCE, par laquelle on prouve 1°. qu'un poids agiſſant comme puiſſance ou comme réſiſtance, par un lévier du premier genre placé horizontalement, a d'autant plus de force qu'il eſt plus éloigné du point d'appui. 2°. que deux maſſes égales oppoſées l'une à l'autre ſur un ſemblable lévier, ne peuvent être en équilibre, que quand elles ſont à égales diſtances du point d'appui; 3°. que deux poids inégaux y exercent l'un contre l'autre des forces égales, quand leurs diſtances au point d'appui commun, ſont réciproquement comme les maſſes. 20

II. Exp. qui prouve les mêmes propoſitions avec des léviers du 2e. & du 3e. genre. 22

Corollaire dans lequel on juſtifie une propoſition d'Archimédes. 25

Applications de ces principes à pluſieurs ſortes de léviers, employés tant par la nature que par l'art, & connus ſous différens noms. 26

III. Exp. pour prouver que l'effort d'une puiſſance eſt le plus grand qu'il puiſſe être, lorſque ſa direction eſt perpendiculaire au bras du lévier par lequel elle agit. 35

IV. Exp. qui fait voir que deux puiſſances oppoſées par un même lévier gardent entr'elles conſtamment le même rapport, ſi leurs directions, de perpendiculaires qu'elles étoient, deviennent également obliques de part & d'autre aux bras du lévier, par leſquels elles agiſſent. 37

V. Exp. Par laquelle on voit que l'effort d'une puiſſance diminuë d'autant plus que ſa direction devient plus inclinée au bras du lévier, & qui apprend quelle eſt la loi de cette diminution. 39

Applic. de cette Théorie à l'uſage des manivelles & autres léviers qu'on employe pour mouvoir les machines. 43

VI. Exp. qui prouve 1°. que le point d'appui d'un lévier eſt chargé de la ſomme des deux forces abſoluës, quand leurs directions ſont paralléles entr'elles; 2°. que la réſiſtance du point d'appui en pareil cas, ſe fait dans une direction paralléle à celles de la puiſſance & de la réſiſtance. 50

VII. Exp. pour prouver que quand les directions des deux forces opposées sont inclinées l'une à l'autre, le point d'appui ne porte qu'une partie de leur effort : qu'il en porte d'autant moins qu'elles sont plus inclinées au lévier ; & que la résistance tend au point de concours de ces deux directions. 51

VIII. Exp. par laquelle on fait voir de combien est chargé le point d'appui, & quelle est la direction de son effort ou de sa résistance, lorsque les puissances opposées sont en équilibre, en agissant par des bras de lévier inégaux. 55

IX. Exp. qui confirme cette Théorie. 56

Applic. de ces principes à plusieurs cas, où l'on fait voir que le point d'appui se trouve trop foible, soit parce qu'il n'est pas proportionné aux puissances dont il doit supporter les efforts, soit parce que sa résistance se fait dans une direction désavantageuse. 59

Des machines qui sont composées de léviers, ou qui agissent comme léviers. 65

De la Balance commune ou de la Romaine. 66

Des Poulies. 78

X. Exp. pour faire voir qu'une poulie peut être employée comme un lévier du premier genre, dont les bras sont égaux, & sur lequel deux puissances égales demeurent toûjours en équilibre, quelques directions qu'elles prennent. 80

XI. Exp. par laquelle on démontre que les puissances appliquées à une poulie, agissent d'autant plus fortement que leur dis-

tance

tance à l'axe eſt plus grande. 83
XII. Exp. qui prouve que l'axe d'une poulie eſt chargé de la ſomme totale de la puiſſance & de la réſiſtance, & que l'effort qu'il ſoûtient, ſe fait dans une direction paralléle aux leurs, ou qui tend à leur point de concours. 84
Applic. avantageuſes des poulies dans des cas où des léviers ſimples ſeroient ou inſuffiſans ou moins commodes. 86
XIII. Exp. pour faire voir que les poulies peuvent être employées auſſi comme léviers du 2e. ou du 3e. genre, & qu'elles en ont toutes les propriétés. 90
Applic. aux poulies moufflées, avantage que cette machine procure à la force motrice, & juſqu'à quel point on y peut compter. 94
Des Rouës dentées & autres. 97
Du Treuil & du Cabeſtan. 103
SECONDE SECT. du Plan incliné. 107
I. Exp. par laquelle on prouve que la puiſſance qui agit par un plan incliné, eſt dans la poſition la plus avantageuſe, quand elle agit parallélement au plan. 109
Applic. de ce principe à pluſieurs phénoménes familiers. 113
Des Machines qui ſont compoſées de plans inclinés. 118
Du Coin. *ibid.*
II. Exp. qui fait connoître 1°. que le coin peut ſervir à vaincre de grandes réſiſtances; 2°. quel eſt le rapport des puiſſances qui agiſſent l'une contre l'autre par le moyen de cette Machine. 123

APPLIC. de la Theorie du Coin aux inſtrumens de différentes eſpèces, qui ſont tranchants, & aux diverſes maniéres dont on les fait agir. 127
De la vis & de ſes propriétés. Deſcription & explication de la vis d'Archimedes, & de la vis ſans fin. 130
TROISIEME SECT. Des Cordes. 138
I. EXP. qui fait voir que la réſiſtance cauſée par la roideur des cordes, augmente en raiſon directe des poids ou des forces qui les tiennent tenduës. 143
II. EXP. pour prouver que la roideur des cordes augmente comme leur diamétre. 146
III. EXP. par laquelle on voit que les cordes deviennent plus roides, à meſure qu'elles enveloppent de plus petits cylindres; mais que cette réſiſtance ne ſuit pas la proportion des diamétres de ces cylindres. 148
APPLIC. de ces principes à l'uſage des cordes dans les Treuils, dans les Cabeſtans, dans les Poulies, dans les Archets des Tourneurs, &c. 149
IV. EXP. qui prouve que le tortillement diminuë la force des cordes, au lieu de l'augmenter. 158
APPLIC. de cette connoiſſance à la fabrique & à l'uſage des cables & autres cordages qui ſervent ſur les vaiſſeaux ou dans les bâtimens. 160
V. EXP. pour faire voir que l'humidité raccourcit & fait détordre un peu les cordes qui ſont faites de fils ou de cordons tortillés enſemble. 163

VI. Exp. qui fait connoître l'effort prodigieux d'un fluide qui s'insinuë par des passages étroits, & qui confirme l'explication de l'expérience précédente. 165
Applic. de ces deux dernières Expériences aux Hygrométres. 167

X. LEÇON.

Sur la Nature & les Propriétés de l'Air.

PREMIERE SECT. De l'air considéré en lui-même, indépendamment de la grandeur & de la figure de sa masse. 176
I. Exp. par laquelle on prouve que l'air a une pésanteur absoluë; attentions qu'il faut avoir, & que n'ont point euë la plûpart de ceux qui ont fait cette expérience; réponse à quelques difficultés qu'on pourroit faire contre cette preuve; explications de plusieurs phénoménes tirés de cette 1re. expérience. 185
II. Exp. qui prouve que la densité de l'air augmente comme les poids qui le compriment; restriction qu'il faut mettre à cette loi. 206
III. Exp. qui fait voir que le ressort de l'air comprimé égale en force la puissance qui l'a mis en cet état. 212
IV. Exp. des deux hémisphéres de Magdebourg. 214
V. Exp. qui démontre que l'adhérence des deux hémisphéres de l'expérience précédente vient uniquement de la pression de l'air extérieur. 216
Applic. des principes établis par les expé-

riences précédentes ; comment ſe fait le vuide par le moyen de la machine pneumatique ; pourquoi le récipient s'attache à la platine ; moyen de connoître les différens dégrés de raréfaction de l'air dans le recipient, & de juger du rapport de la capacité de ce vaiſſeau à celle de la pompe ; explications de pluſieurs effets qui dépendent du reſſort de l'air. 220

VII. Exp. de l'Arquebuſe à vent. 233

Applic. du reſſort de l'air comprimé à la fontaine de Heron, & aux pompes qui fourniſſent continuellement de l'eau, quoiqu'elles n'ayent qu'un piſton. Diverſes tentatives ſur la compreſſion de l'air ; nouvelle machine pour faire des épreuves de ce genre. 236

VIII. Exp. pour faire connoître en quelle proportion la chaleur augmente le volume de l'air. 247

Applic. de cette cauſe à divers effets que l'on fait voir qui en dépendent ; fontaine artificielle conſtruite ſur ce principe. 251

IX. Exp. qui fait connoître en quelle proportion la chaleur augmente le reſſort de l'air. 256

Applic. de ce principe à la conſtruction d'un Thermométre comparable ; comparaiſon de l'air d'une chambre échauffée par un poële à celui qui s'échauffe par le feu de l'âtre. 261

X. Exp. des animaux dans le vuide. 265

XI. Exp. des poiſſons dans le vuide. 266

Applic. de la néceſſité de l'air pour conſerver la vie animale ; plus preſſante cependant pour certaines eſpéces que pour

d'autres; exemples singuliers de personnes qui ont vêcu un tems considérable sans respirer; explication de ce phénoméne: l'air n'est bon à respirer, que quand il n'est ni trop rare, ni trop condensé, nouveau & pur; observations qui le prouvent. Machines pour renouveller l'air, moyens pour le purifier, &c. 270
XII. Exp. de la flamme dans le vuide. 285
XIII Exp. pour prouver, que sans air, le feu le plus actif ne produit point de lumiére. 286
XIV. Exp. par laquelle on voit que la poudre à canon ne s'embrase qu'à peine & sans explosion dans le vuide. Précautions à prendre en faisant ces sortes d'épreuves. 287
Applic. de ce principe à divers effets naturels, qui se rencontrent journellement. 291
XV. Exp. pour prouver qu'il y a beaucoup d'air dans les corps solides. 297
XVI. Exp. par laquelle on voit qu'il y en a aussi beaucoup dans les liquides. 300
XVII. Exp. pour comparer le volume d'air qui sort de l'eau, à la quantité de l'eau même d'où on l'a fait sortir. 308
XVIII. Exp. pour connoître le volume d'air qui sort d'une certaine quantité de sucre qui se dissout. 311
XIX. Exp. par laquelle on fait voir que le volume d'air qu'on tire d'une matiére, égale souvent 200 ou 300 fois celui de la matiére d'où il sort. On essaye d'expliquer ce phénoméne singulier. 312
Applic. de cette cause pour rendre raison

des coliques de vents, des rapports d'eſtomac, &c. 324
XX. Exp. pour connoître en combien de tems l'air rentre dans les liqueurs, d'où on l'a fait ſortir. 330
Applic. de cette connoiſſance à quelques eſſais ſur les moyens d'introduire des odeurs dans les liquides. 333

XI. LEÇON.

Suite des propriétés de l'Air.

SECONDE SECT. De l'air conſidéré comme atmoſphére terreſtre. 335
Article I. De l'atmoſphére conſidéré comme un fluide en repos. 337
I. Exp. par laquelle on voit que le mercure baiſſe dans le barométre à meſure que la hauteur de l'atmoſphére diminuë ; & dans quelle proportion ſe fait cet abbaiſſement du mercure. 340
Applic. de cette expérience pour connoître le poids de l'atmoſphére, ſon étenduë, ſa figure, la hauteur des montagnes ; examen hiſtorique & critique de ce qui a été fait à cet égard. 348
II. Exp. pour prouver que l'air de l'atmoſphére eſt chargé de parties aqueuſes. 362
III. Exp. par laquelle on apperçoit viſiblement les corps étrangers qui flottent dans l'air de l'atmoſphére. 364
Applic. aux météores aqueux dont on décrit l'hiſtoire. 367
Art. II. De l'atmoſphére conſidéré comme un fluide en mouvement. 394

Du Son en général. 395
Des Corps ſonores. 396
I. Exp. qui fait connoître que le ſon conſiſte primitivement dans les vibrations du corps ſonore. 397
II. Exp. qui prouve la même choſe. *ibid.*
Applic. de ce principe au choix des matiéres dont on fait les corps ſonores, à leur préparation, au choc ou au frottement des fluides qui produit des ſons; explications de quelques faits ſinguliers qui ont rapport à cette théorie. 403
Du milieu qui tranſmet les ſons. 409
III. Exp. du ſon éprouvé dans le vuide. 410
IV. Exp. du ſon éprouvé dans l'eau. 411
Applic. de ces deux derniéres expériences pour expliquer quelques effets ſinguliers; remarques ſur la tranſmiſſion des ſons dans l'eau par rapport à l'oüie des poiſſons; hiſtoire des expériences qui ont été faites en dernier lieu ſur la propagation des ſons dans l'atmoſphére, avec les principaux réſultats. 416
V. Exp. qui fait connoître dans quelle proportion, & ſelon quelle loi l'intenſité du ſon augmente ou diminuë, eu égard à la diſtance du corps ſonore, à la denſité ou au reſſort de l'air qui tranſmet le ſon. 424
Applic. des connoiſſances que l'on tire de cette expérience, à certains affoibliſſemens des ſons; nouvelle explication des effets du porte-voix, & de quelques phénoménes qui dépendent de la même cauſe; hiſtoire & explication de quelques

échos ſinguliers. 430 *& ſuiv.*
De l'Oüie & de ſon organe. 439
Deſcription de l'Oreille, & de ſes fonctions. Cornets acouſtiques. 444
Des ſons comparés. 452
VI. Exp. du Sonométre, par laquelle on fait connoître le rapport qu'il y a entre les longueurs, groſſeurs, tenſions, & denſités rélatives des Cordes, & les différens tons qu'elles produiſent 462
Applic. des principes établis par cette expérience aux inſtrumens de Muſique de différentes eſpéces; examen des principaux ſyſtèmes ſur l'organe de la Voix, & ſur ſes fonctions. On explique, ſuivant le ſentiment de M. de Mairan, la propagation diſtincte des différens tons ſimultanés. 467
Des Vents. 487

Fin de la Table des Matiéres du Tome troiſiéme.